



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

2021

SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: EMBALSE DE MARGALEF



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSE DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: EMBALSE DE MARGALEF

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



SERVICIO:

ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

María José Rodríguez Pérez
Vicente Sancho-Tello Valls

EMPRESA CONSULTORA:

ECOHYDROS S.L.



EQUIPO DE TRABAJO:

Agustín P. Monteoliva, Alberto Criado, Alberto Navas, Laura Miralles, Omar Monteoliva, Iván González y María Fernández

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

114.425,25 Euros

CONTENIDO:

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

AÑO DE EJECUCIÓN:

2021

FECHA ENTREGA:

DICIEMBRE 2021



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Vista del Parque Natural de la Serra del Montsant desde el embalse de Margalef

Superior derecha: Ejemplar de barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*)

Inferior izquierda: Ejemplar de pez gato negro (*Ameiurus melas*)

Inferior derecha: Equipo técnico de electropesca en el embalse de Margalef

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2021) Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Embalse de Margalef. 61 pág. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>

El presente informe pertenece al Dominio Público en cuanto a los Derechos Patrimoniales recogidos por el Convenio de Berna. Sin embargo, se reconocen los Derechos de los Autores y de la Confederación Hidrográfica del Ebro a preservar la integridad del mismo, las alteraciones o la realización de derivados sin la preceptiva autorización administrativa con fines comerciales, o la cita de la fuente original en cuanto a la infracción por plagio o colusión. A los efectos prevenidos, las autorizaciones para uso no científico del contenido deberán solicitarse a la Confederación Hidrográfica del Ebro.



SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: EMBALSE DE MARGALEF. AÑO 2021

El objeto de este informe es la evaluación de la abundancia y biomasa de la biocenosis de peces del embalse de Margalef. Para ello, en octubre 2021 se realizó un muestreo cuantitativo de los peces en dicho embalse empleándose una combinación de técnicas: Muestreo directo mediante redes agalleras científicas (CEN-EN 14.757/2006) y pesca eléctrica desde embarcación, y sondeo indirecto mediante técnicas hidroacústicas.

*Adicionalmente, se realizó un muestreo y análisis de eDNA, para detectar la presencia de dos especies que podrían estar en números tan bajos que resultarían indetectables con las técnicas de pesca directa. Se trata de la trucha común (*Salmo trutta*) y la anguila (*Anguilla anguilla*), dos especies autóctonas en declive en los embalses de esta demarcación.*

*Los resultados determinan que la asociación está claramente dominada en densidad por el barbo de Graells (*Luciobarbus grellsii*), que representa el 62,4%. Esta especie domina también la asociación en términos de biomasa, con un 90,6%, seguida por el black bass (*Micropterus salmoides*) (5,5%) y la madrilla (*Parachondostroma miegii*) (2,7%). El pez gato negro (*Ameiurus melas*) tiene una población aparentemente incipiente pero su carácter altamente invasor incrementa la presión e incertidumbre sobre el devenir de la asociación de peces del embalse.*

La densidad estimada fue de $2,06 \pm 0,46$ ind/dam³ y la biomasa de $6,19 \pm 1,37$ g/m², es decir, 61,9 kg/ha, que puede considerarse un valor moderado de biomasa, aunque más alto de lo esperado en un embalse oligotrófico.

*En el caso de la trucha común (*Salmo trutta*) y anguila europea (*Anguilla anguilla*), la prospección mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA), ha ofrecido resultados negativos (ausencia) para ambas especies.*

HYDROACOUSTIC SURVEY IN RESERVOIRS OF THE EBRO RIVER BASIN DISTRICT: MARGALEF RESERVOIR. YEAR 2021

This report refers to the assessment of the abundance and biomass of the fish biocenosis of the Margalef reservoir. For this purpose, in October 2021 a quantitative sampling of fish in the reservoir was carried out using a combination of techniques: direct sampling by means of scientific gillnets (CEN-EN 14.757/2006) and boat electrofishing; and indirect sounding using hydroacoustic techniques.

*In addition, eDNA sampling and analysis was carried out to detect the presence of two species that could be present in such low numbers that they would be undetectable with direct fishing techniques: brown trout (*Salmo trutta*) and eel (*Anguilla anguilla*), two native species in decline in the reservoirs of this basin.*

*The results determined that the association is clearly dominated in density by Graells barbel (*Luciobarbus grellsii*), which accounts for 62.4%. In terms of biomass, Graells barbel also dominates the association with 90.6%, followed by black bass (*Micropterus salmoides*) (5.5%) and madrilla (*Parachondostroma miegii*) (2.7%). Black bullhead catfish (*Ameiurus melas*) has an apparently incipient population, but its highly invasive nature increases pressure and uncertainties about the future of the ichthyocenosis.*

The estimated density was 2.06 ± 0.46 ind/dam³ and the biomass was 6.19 ± 1.37 g/m², i.e., 61,9 kg/ha, which can be considered moderate biomass values, but higher than expected in an oligotrophic reservoir.

Regarding brown trout and European eel detection by using the specific high-resolution method based on genetic detection using environmental DNA, negative results (absence) were achieved for both species.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	11
1.1. PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS.....	12
1.2. INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES.....	12
2. ÁMBITO DE ESTUDIO	14
2.1. SITUACIÓN.....	14
2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	16
2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES	19
2.4. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO	21
3. METODOLOGÍA.....	22
3.1. DISEÑO DEL MUESTREO.....	23
3.2. MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA	23
3.2.1. Prospección hidroacústica.....	23
3.2.2. Procesado de datos acústicos.....	25
3.3. MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA.....	25
3.3.1. Redes agalleras multipaño	25
3.3.2. Pesca eléctrica desde embarcación.....	27
3.4. INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES	28
3.5. EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI.....	29
3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGUILA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL.....	31
3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA)	31
3.6.2. Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua	32
3.6.3. Detección específica de trucha común.....	32
3.6.4. Detección específica de anguila europea	33
3.6.5. Estimaciones de biomasa.....	33
4. RESULTADOS	34
4.1. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES.....	34
4.1.1. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	40
4.2. MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA.....	41
4.2.1. Especies presentes en el embalse.....	41

4.2.2.	<i>Composición y distribución de especies</i>	42
4.3.	<i>BIOMASA</i>	47
4.3.1.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro</i>	50
4.4.	<i>DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES</i>	51
4.5.	<i>MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL</i>	52
4.5.1.	<i>Muestras ambientales de agua</i>	52
4.5.2.	<i>Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa</i>	52
4.5.3.	<i>Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa</i>	54
5.	VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI	56
6.	CONCLUSIONES	57
7.	GLOSARIO Y ACRÓNIMOS	59
8.	BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1. Especies presentes
Anexo 2. Resultados de las pescas
Anexo 3. Celdas del muestreo hidroacústico (en versión digital)
Anexo 4. Boletines de ensayo eDNA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estratos considerados en el embalse de Margalef	19
Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas.	26
Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI	30
Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico	30
Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam ³) por estratos, estimada mediante acústica	36
Tabla 6. Especies presentes en el embalse.....	42
Tabla 7. Resultados de las pescas con red por especies	43

Tabla 8. Tracks de pesca eléctrica realizadas durante los muestreos directos en el embalse de Margalef	45
Tabla 9. Resultados de la pesca eléctrica por especies	45
Tabla 10. Biomasa de peces por estratos (g/m ²) estimada mediante acústica	47
Tabla 11. Densidades (ind/dam ³) y biomásas (g/m ²) por especie	51
Tabla 13. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de trucha común	52
Tabla 14. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de anguila europea.....	54
Tabla 15. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Margalef.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnicos de hidroacústica trabajando en el embalse de Margalef	14
Figura 2. Situación del embalse de Margalef	15
Figura 3. Índice NDWI aplicado a la imagen satélite para identificar la lámina de agua	17
Figura 4. Batimetría del embalse de Margalef	18
Figura 5. Perfiles físico-químicos realizados en el embalse de Margalef (MLF21_E1PRO1)	20
Figura 6. Esquema del método de censado de poblaciones ícticas en un embalse	22
Figura 7. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico	24
Figura 8. Ubicación de redes bentónicas en embalse de Margalef	27
Figura 9. Equipo de electropesca desde embarcación en embalse de Margalef	28
Figura 10. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial	29
Figura 11. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en el embalse de Margalef	31
Figura 12. Recorridos del sondeo hidroacústico en el embalse de Margalef	35
Figura 13. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Margalef.....	36

Figura 14. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud	38
Figura 15. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud.....	39
Figura 16. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro	40
Figura 17. Tareas ejecutadas por los técnicos durante los muestreos directos en el embalse de Margalef	41
Figura 18. Composición de la asociación obtenida mediante redes.....	43
Figura 19. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm.....	44
Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica.....	46
Figura 21 Composición de gráficas longitud-peso de las diferentes especies capturadas	46
Figura 22. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud	48
Figura 23. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud.....	49
Figura 24. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro	50
Figura 25. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Cf) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas	53
Figura 26. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Cf) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas	55

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente documento constituye el informe final de los trabajos realizados en el embalse de Margalef (Tarragona) durante el año 2021, incluidos en la Asistencia Técnica “Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro” adjudicado a Ecohydros, S.L. por la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante, CHE).

La CHE viene realizando desde hace años estudios censales de peces en embalses mediante la combinación de técnicas hidroacústicas y de captura directa con métodos científicos. A lo largo de este tiempo, la metodología se ha depurado y es un momento óptimo para su aplicación a las masas de agua que no han sido aún prospectadas en este aspecto.

Además, se ha realizado un muestreo y análisis de eDNA en cada embalse, para detectar la presencia de dos especies que podrían estar en números tan bajos que resultarían indetectables con las técnicas de pesca directa (redes agalleras y electropesca). Se trata de la trucha común (*Salmo trutta*) y la anguila (*Anguilla anguilla*), dos especies autóctonas en declive debido a la presencia de presas u obstáculos en los ríos que suponen una barrera para su desplazamiento natural, ya sea por movimientos migratorios reproductivos o alimentarios.

En este informe se presentan los trabajos realizados en la evaluación de las poblaciones de peces del embalse de Margalef, al tiempo que se somete a contraste el rendimiento de las técnicas hidroacústicas combinadas con muestreos directos de verificación y con métodos de detección de alta sensibilidad (eDNA), como futura metodología de aplicación en las masas de aguas no vadeables para evaluar la biomasa de peces en estos ecosistemas.

Se recoge la descripción de los métodos aplicados, así como los resultados obtenidos. Consta de una Memoria con sus respectivos ANEXOS, en los que se facilitan *in extenso* los datos que dan lugar a las estimaciones sintéticas, tanto en forma de fichas y tablas alfanuméricas como en forma de mapas, según proceda. Se acompaña además de un CD en el que se facilitan los documentos y datos en formato electrónico.

1.1. PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS

Las técnicas hidroacústicas constituyen actualmente la técnica remota por excelencia para cartografiar hábitats y elementos biológicos, tanto los relacionados con los fondos (bentónicos), como con la columna de agua. Los gestores de los ecosistemas acuáticos necesitan identificar y cartografiar los elementos naturales a través de múltiples escalas espaciales, y, en este sentido, los sistemas acústicos resultan óptimos por su enorme rango dinámico, que permite medir propiedades de los objetos desde escalas de centímetros a kilómetros.

La comunidad científico-técnica hace tiempo que ha aceptado los sensores acústicos como una familia de herramientas óptima para estudiar cuantitativamente una diversidad de aspectos relacionados con la morfología y características de los sustratos, sedimentos, rasgos de pequeña escala de los hábitats bentónicos e incluso de la estructura de las comunidades de organismos (animales y plantas) que forman parte de ellos. Esto también es aplicable a organismos pelágicos, permitiendo individualizar elementos biológicos en un rango que transcurre desde escasos milímetros (zooplancton) a varios metros (peces y cetáceos). En consecuencia, existe ya un cuerpo de conocimiento y tecnología muy desarrollados y con cierta tradición, si bien es cierto que su correcta aplicación depende de una formación técnica altamente especializada.

En lo referente a su aplicación en estudios censales y de dinámica poblacional de los peces, está relativamente extendida en ambientes marinos, y en aguas continentales se aplica de forma creciente, debido en gran medida a la elevada portabilidad de los equipamientos hidroacústicos actuales. Existe una norma europea (CEN EN 15910: 2014 *Water quality - Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods*) que contempla este tipo de técnicas para la evaluación de la biomasa de peces.

La adaptación y aplicación de estas técnicas a las masas de aguas continentales, es una buena oportunidad para mejorar la cantidad y calidad de la información biológica disponible en las masas de agua no vadeables, es decir, no accesibles a las técnicas de muestreo que requieren el acceso a pie del operario, razón por la que se ha promovido el presente estudio.

1.2. INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES

La fauna de peces representa un nivel elevado en la red trófica de los ecosistemas acuáticos e integra información espacio-temporal a mayor escala que los invertebrados. De ahí que resulte de interés su estudio desde diferentes puntos de vista, que transcurren desde la perspectiva de

la conservación de la biodiversidad (especies amenazadas, especies invasoras, etc.), a su gestión como recurso pesquero, pasando por su interacción con la calidad de las aguas y su valor indicador del estado (potencial) ecológico (p.e. Poikane et al., 2015).

A diferencia de los otros elementos biológicos utilizados como indicadores, los peces integran información plurianual y su papel en la clasificación de estas masas de agua no debe ser desdeñado *a priori*, máxime cuando una de las consecuencias más conspicuas de la degradación de las aguas son las mortandades piscícolas.

Es también muy relevante el papel que pueden desempeñar los peces en el ciclo biogeoquímico del embalse y en la calidad del agua en general, a través de mecanismos con repercusión en la red trófica y el control desde arriba del fitoplancton, pero también mediante el incremento del tiempo de residencia de las formas biodisponibles de los nutrientes en la columna de agua provocado por acciones de resuspensión y bombeo desde los sedimentos.

Este tipo de problemas se ponen especialmente de manifiesto en situaciones de sequía y bajas reservas de agua en los embalses, y las técnicas hidroacústicas permiten obtener la información básica necesaria mediante procedimientos ya muy afianzados, como se puede constatar en los tratados técnicos (Simmonds & MacLennan, 2005) y en las normas estándar existentes (ver más adelante).



Figura 1. Técnicos de hidroacústica trabajando en el embalse de Margalef

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

2.1. SITUACIÓN

El embalse de Margalef (MAS 72) se localiza en el término municipal de Margalef, situado en la comarca del Priorato, en la provincia de Tarragona, formando parte del “Parc Natural de la Serra del Montsant”, regulando las aguas del río Montsant.

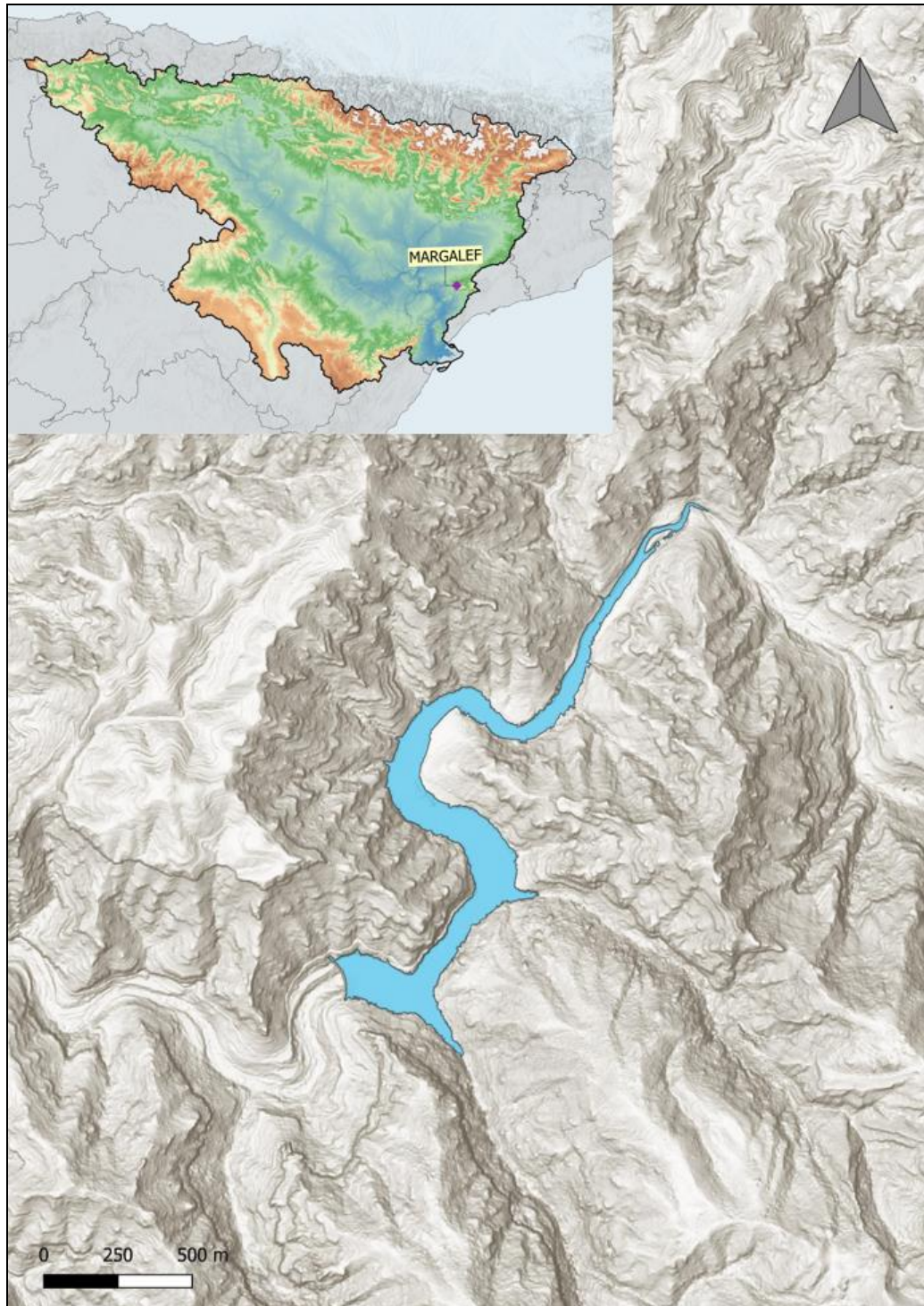


Figura 2. Situación del embalse de Margalef

El agua del embalse está destinada principalmente al abastecimiento de la población e industria de bajo consumo, combinado con usos de regadío. El embalse de Margalef forma parte del Registro de Zonas Protegidas elaborado por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Habitualmente el sondeo hidroacústico se utiliza también para obtener una batimetría aproximada que se emplea para cubicar los diferentes estratos y ponderar las densidades y biomásas obtenidas por capa. Sin embargo, en este caso se dispone de un modelo digital del terreno (MDT) procedente del “LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTHAZ, GEOFÍSICO Y TOMA DE MUESTRAS EMBALSE DE MARGALEF” (MITECO, 2021). En la Figura 4 se representa en planta el mencionado modelo batimétrico digital.

Utilizando dicho MDT, el embalse de Margalef tiene una capacidad máxima de 2,13 hm³ y ocupa en su nivel máximo normal (432,14 msnm) una superficie de 21,34 ha, lo que supone una profundidad media de 10 metros y máxima de 31 metros.

El embalse presentó durante el muestreo (14 - 15 de octubre de 2021) una profundidad media de 6,3 m y máxima de 16 m; la cota durante esas fechas estaba en el entorno de 420,8 msnm, que según la hipsometría generada corresponde a un volumen de 0,55 hm³, es decir la reserva hídrica se encontraba en el 26% de su capacidad.

Se ha realizado un trabajo previo de tratamiento de imágenes de satélite para aproximar el contorno correspondiente al límite del agua en el momento del muestreo, o en fechas cercanas. Para ello, se ha recurrido al satélite *Sentinel-2*, equipado con los últimos sensores multiespectrales (MSI), que disponen de una resolución radiométrica de 13 bandas espectrales que se distribuyen en el espectro electromagnético, desde el VNIR (Visible) al SWIR (infrarrojo cercano). Mediante la combinación de estas bandas se pueden generar diferentes índices, muy frecuentemente referidos a la vegetación.

En este caso se ha aplicado el MNDWI, que es uno de los métodos útiles para identificar zonas encharcadas y cuerpos de agua. Supera algunas deficiencias del NDWI para esta finalidad, mediante el uso de la banda de infrarrojos de onda corta, que reemplaza a la banda de infrarrojo cercano del NDWI.

Como resultado, se obtiene una imagen en la que se diferencia el embalse de Margalef (Figura 4) y de la que se extrae el polígono del contorno del embalse durante el muestreo, que posteriormente se aplica como frontera en las interpolaciones espaciales. Su superficie en las fechas del muestreo es de 8,8 ha.

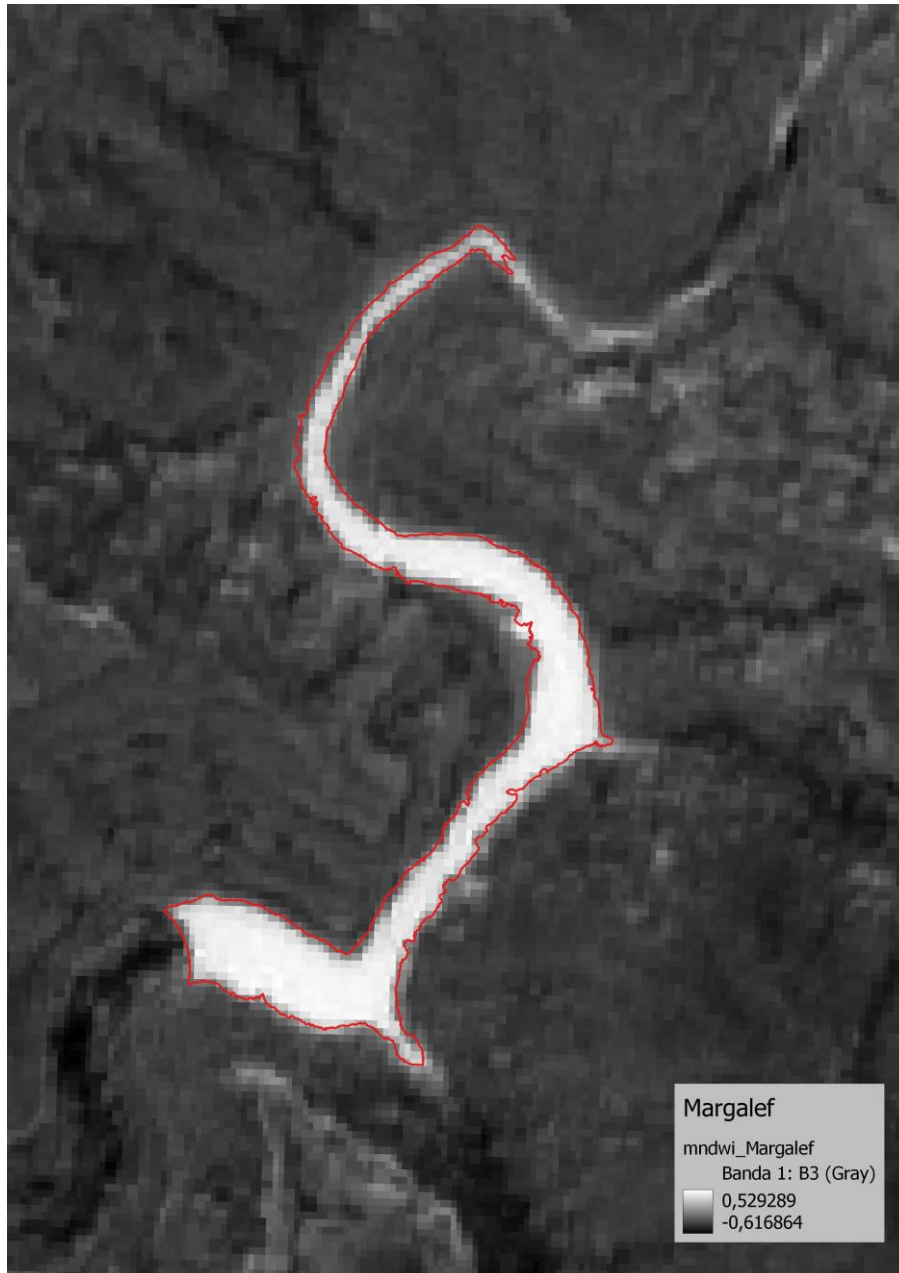


Figura 3. Índice NDWI aplicado a la imagen satélite para identificar la lámina de agua

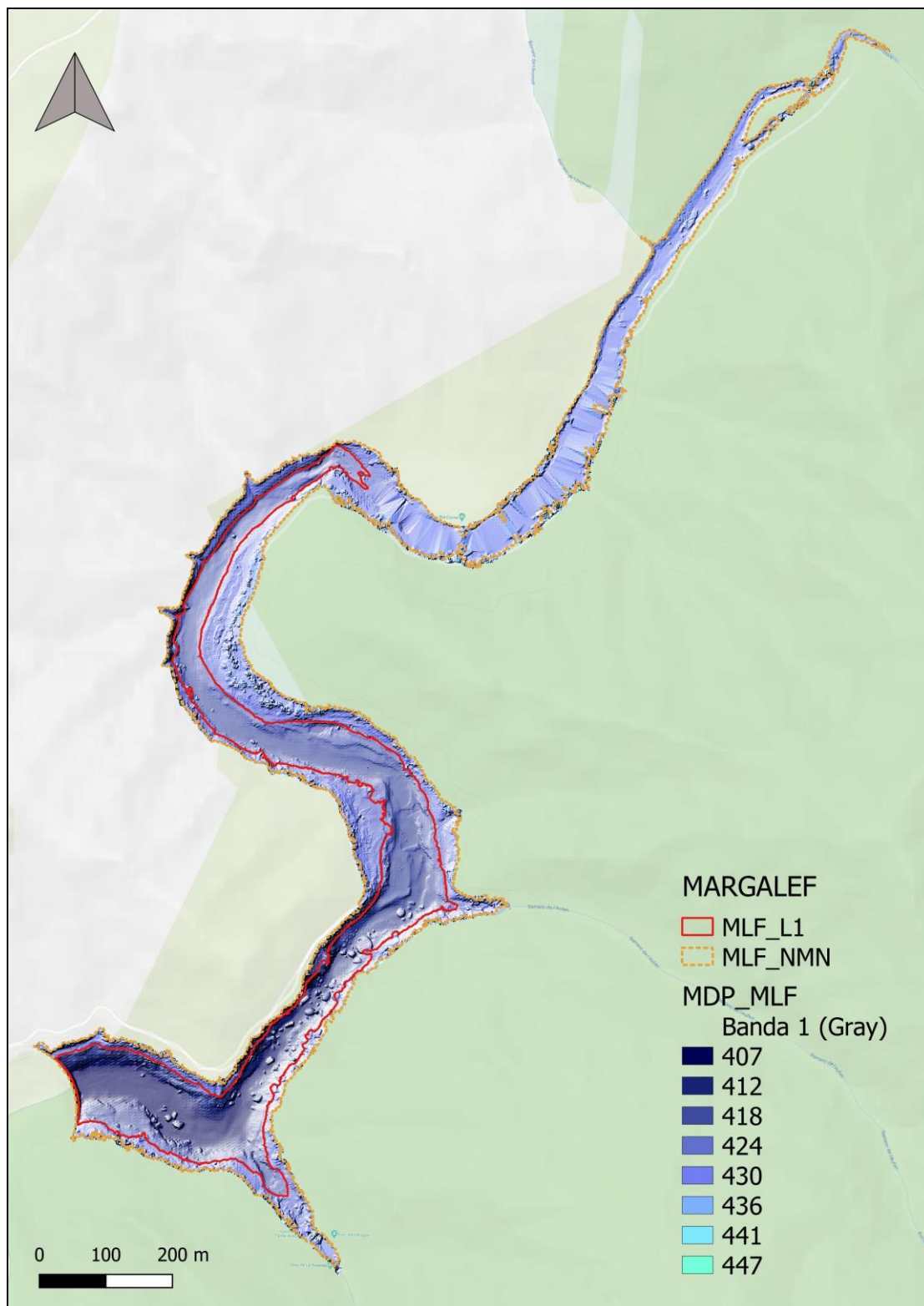


Figura 4. Batimetría del embalse de Margalef y contorno del embalse durante el muestreo (MLF_L1)

En la Tabla 1 se presentan los volúmenes y superficies de cada uno de los 2 estratos de profundidad considerados en este caso, obtenidos a partir de la batimetría anterior. Los volúmenes de cada estrato pueden presentar ciertas desviaciones con respecto a los volúmenes reales, los motivos de esta desviación son múltiples (efecto del procedimiento de interpolación espacial, resolución de la batimetría, acumulación de sedimentos, nivel del embalse, etc.).

Tabla 1. Estratos considerados en el embalse de Margalef

Embalse	Sector	Estrato	Profundidad (m)	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)
MLF21	1	1	0 a 5	0,328	8,8
MLF21		2	5 a 11	0,223	4,10

2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES

Para facilitar la definición de macrohábitats y establecer la velocidad real del sonido en el agua (parámetro fundamental para el ecosondeo), así como detectar zonas potencialmente hostiles para los peces, se ha realizado un perfil físico químico en el vaso principal del embalse, en la zona más profunda frente a la presa. En la Figura 6 se recogen los parámetros resumen del perfil vertical y la representación gráfica del mismo.

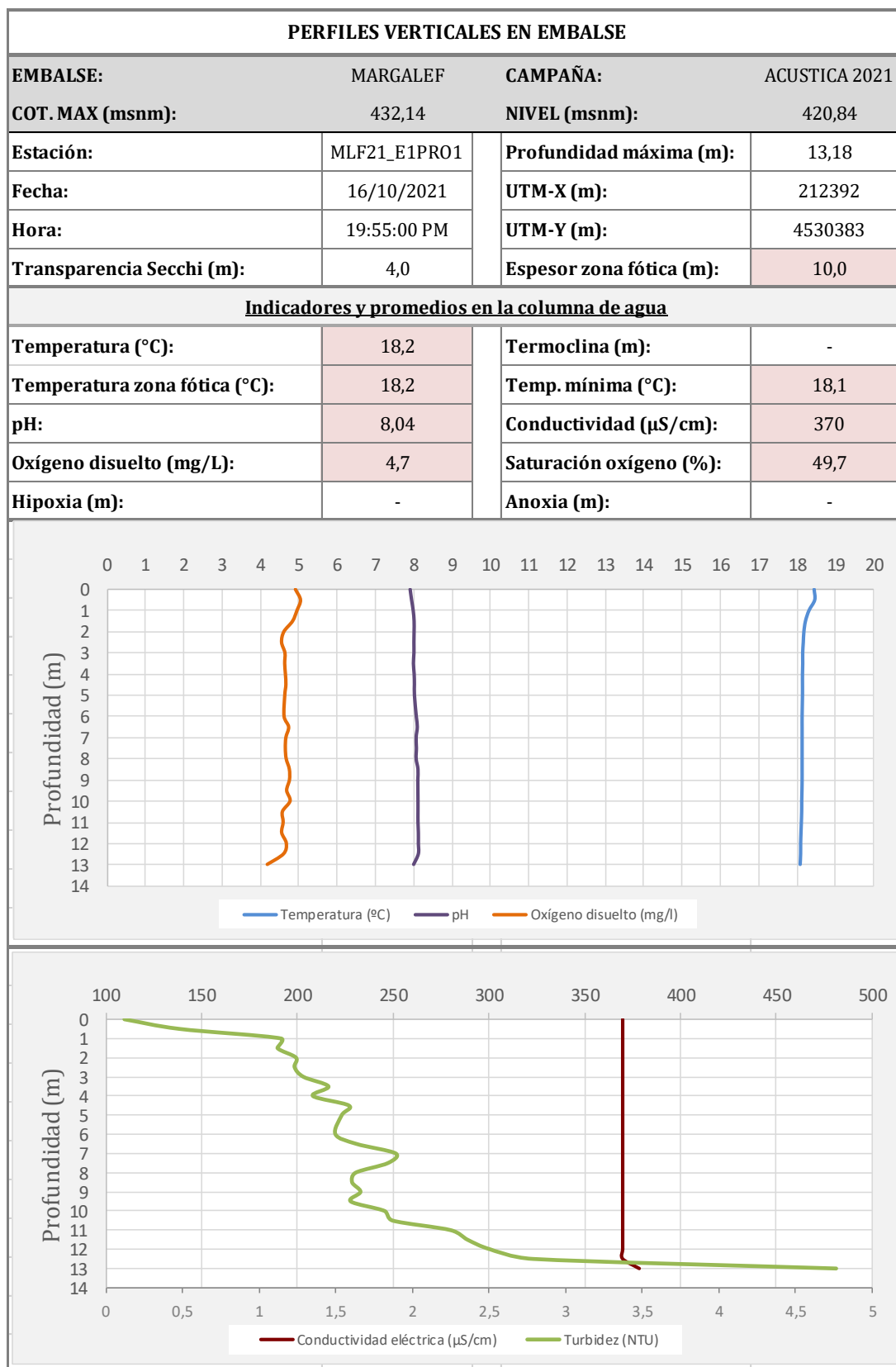


Figura 5. Perfilado físico-químico realizado en el embalse de Margalef (MLF21_E1PRO1)

Del perfil obtenido en la estación “MLF21_E1PRO1” se desprenden las siguientes apreciaciones:

- La profundidad máxima en el momento del muestreo alcanza aproximadamente los 13 metros.
- La temperatura del agua es homogénea y oscila entre los 18°C y los 18,5°C registrados en superficie. En el momento del muestreo no se detecta estratificación térmica.
- El pH del embalse es ligeramente básico y regular a lo largo de toda la columna de agua, con un valor medio de 8,04 ud de pH.
- La transparencia del agua registrada en la lectura del disco Secchi es de 4 metros, lo que supone una profundidad de la capa fótica de aproximadamente de 10m. El valor promedio de la turbidez es de 1,7 NTUs, que es también el valor máximo en la zona fótica. Por debajo de esa zona se observa un incremento con la profundidad hasta alcanzar los 4,8 NUTs en fondo.
- La conductividad eléctrica es de 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a lo largo de toda la columna de agua.
- En cuanto a las condiciones de oxigenación de la columna de agua se registra una concentración media de 4,7mg O_2/l que se mantiene regular a lo largo de toda la columna de agua, sin detectarse condiciones de anoxia.

2.4. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO

El embalse de Margalef se cataloga en el ecotipo 10 (Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos). Este embalse está incluido en la red de control de vigilancia, y ha sido catalogado como “oligotrófico” y potencial ecológico “moderado”, según el informe final de Seguimiento de Embalses 2016 de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2016).

3. METODOLOGÍA

Se ha aplicado un procedimiento de muestreo sistemático mediante ecosondeo vertical y horizontal, combinado con muestreos directos por medio de la extensión de redes y pesca eléctrica desde embarcación.

El procedimiento general empleado, que se plasma en la Figura 6, establece diferentes técnicas de muestreo en función de los macrohábitats diferenciados. Como se puede observar en la citada figura, el procedimiento de trabajo se basa en la combinación optimizada de diferentes técnicas prospectivas y de análisis.

Mediante los sondeos acústicos en posición vertical y horizontal se obtiene una alta densidad muestral relativa a la densidad y talla acústica de los peces, y cada elemento de análisis se posiciona en tres dimensiones (latitud, longitud y profundidad). Además, se obtiene un levantamiento del fondo que permite elaborar un modelo batimétrico digital, que sirve para ubicar adecuadamente las estimaciones poblacionales en cada macrohábitat.

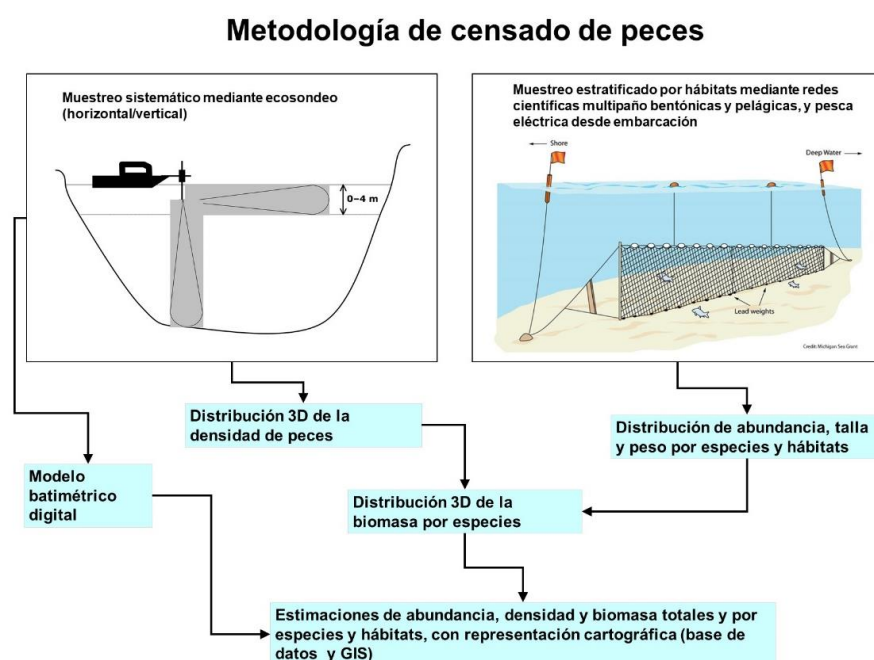


Figura 6. Esquema del método de censo de poblaciones ícticas en un embalse

Mediante el muestreo con métodos directos de pesca científica en lugares representativos de los diferentes sectores definidos (macrohábitats), se alcanza un conocimiento de la distribución

de especies y relaciones entre la talla y el peso, que permiten finalmente estimar biomásas por especies y sectores.

3.1. DISEÑO DEL MUESTREO

Se ha planteado una distribución sistemática de las unidades de muestreo acústico, con una separación entre transectos de entre 50 y 100 m.

Se han realizado recorridos periféricos adicionales proyectando el haz horizontal hacia las riberas, es decir, perpendicularmente a la línea de costa, en aquellos lugares en los que el desarrollo del hábitat litoral lo aconsejaba. Con ello se ha maximizado el alcance del sondeo en zonas someras, menos accesibles a un ecosondeo vertical.

Con el objetivo de conocer la composición específica del embalse, se dispusieron una serie de redes agalleras multipaño tratando de cubrir los gradientes presa-cola, zona litoral-zona pelágica y por último el gradiente en profundidad. En las zonas litorales se realizaron además transectos de pesca eléctrica desde embarcación.

En 3 estaciones de muestreo, coincidentes con puntos de pesca directa, se han tomado muestras de agua para análisis de eDNA de trucha común y de anguila. En esos mismos puntos se han realizado perfiles verticales de parámetros físico-químicos y registros de transparencia del agua mediante disco de Secchi.

Los muestreos acústicos y de pesca directa se han realizado simultáneamente entre los días 14 y 15 de octubre de 2021.

3.2. MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA

3.2.1. Prospección hidroacústica

El equipo utilizado es una ecosonda científica BioSonics DTX, con un transductor elíptico digital de haz dividido y frecuencia de 430 kHz, orientado horizontalmente, y un transductor digital de haz dividido y frecuencia de 200 kHz, orientado verticalmente. Estos sistemas ofrecen un rango dinámico muy superior a los analógicos. El transductor utilizado en orientación vertical tiene un ángulo de apertura de 10°, lo que permite obtener un volumen muestral que casi duplica los de los transductores estándar.

Los transductores van sujetos lateralmente al barco mediante un soporte construido *ex profeso* que los mantiene sumergidos en su posición, horizontal o vertical, y orientados perpendicularmente al avance de la embarcación.

Durante la adquisición de datos, las posiciones proporcionadas por el sistema GPS se incorporan de forma automática y directa a los ficheros de datos, de modo que los datos de cada medición efectuada por la ecosonda van vinculados de forma inequívoca a sus respectivas posiciones. Con cada pulso o muestra, el sistema adquiere información sobre todos los objetos que se encuentran en ese momento en la columna de agua y dentro del haz acústico que emite la sonda.

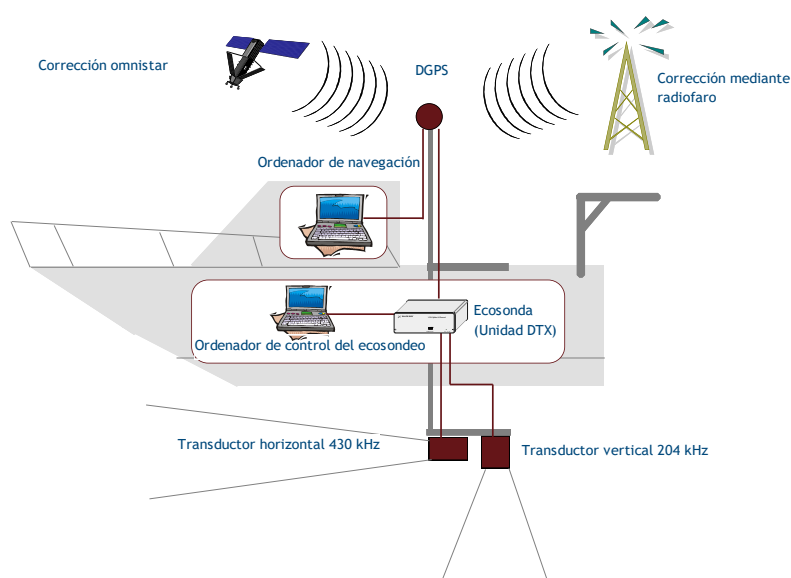


Figura 7. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico

Los datos adquiridos se someten a un postproceso, mediante el cual se extraen de los ficheros de datos crudos, adquiridos en el campo y las posiciones originales suministradas por el GPS. Para ello, se empieza por identificar el fondo en cada ecograma.

Posteriormente, se visualizan en forma de ecograma todos los datos acústicos obtenidos y se revisan para descartar posibles artefactos (detecciones de burbujas, etc.) en los ficheros, excluyendo de esta forma falsos ecos.

3.2.2. Procesado de datos acústicos

Se contempla una combinación de las técnicas de detección de ecos (ecoconteo y recuento de rastros) y de eointegración. La técnica de detección de ecos permite, para cada ping (muestra) o rastro, catalogar cada señal como objetivo (pez) y estimar su intensidad acústica, mientras que, en el caso de la eointegración, se estima la intensidad acústica de una agrupación de peces y se asigna una intensidad media por individuo.

Esta última técnica se aplica a las agrupaciones densas (bancos) de peces, que no permite a los sistemas acústicos resolver ecos individuales, y también a la insonificación horizontal, en la que la variabilidad de la señal en función de la orientación del pez respecto al haz es alta y sigue patrones desconocidos en un sondeo móvil. Se aplica en todos los casos al estrato superficial, en el que el sondeo se realiza con orientación horizontal del haz, dado que la estimación de la talla acústica individual en este tipo de sondeo móvil presenta un alto grado de incertidumbre.

En este embalse se ha aplicado la técnica de eointegración para estimar la abundancia en los estratos profundos, sondeados con orientación vertical del haz acústico, dado que la densidad de peces y el ruido por otros factores (burbujas, etc) son elevados.

Además de la densidad de peces en cada celda georreferenciada, se obtiene la intensidad media del blanco o talla acústica (TS, expresada en dB).

Para convertir la TS en talla física del pez, en el caso de la eointegración en el sondeo horizontal, se ha utilizado la talla media de las capturas obtenidas en las pescas para obtener la intensidad de reverberación de sección transversal (*backscattering cross section*) utilizando regresiones *ad hoc* (Kubecka *et al.*, 2009). En el caso del sondeo vertical, la distribución de tallas aplicadas en el proceso de eointegración deriva de la intensidad de los propios ecos (SED), en lugar de la de las capturas.

3.3. MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA

3.3.1. Redes agalleras multipaño

A efectos de obtener información sobre la distribución de especies y las relaciones talla/peso, se han calado redes de muestreo científico de tipo NORDIC (Fiskerivertket 2000:1), desarrolladas por el *Nordic Freshwater Fish Group* y que constituye un estándar internacional (CEN-EN 14.757/2006).

Constan estas redes de 12 paños agalleros de luz creciente, que va desde 5 hasta 55 mm, en una longitud total de 10 m, 30 m o 40 m de largo y de 1,5 ó 6 m de alto. La ratio entre la luz de paños consecutivos es de 1,25 y sigue una progresión geométrica. Este tipo de red constituye un arte de pesca no sesgado, puesto que captura con similar probabilidad todas las tallas.

Para completar la información aportada por las redes estándar, se han empleado otras redes formadas por cuatro paños de luces de mayor tamaño cuyo objetivo es la caracterización de las tallas grandes.

La nomenclatura de cada red depende de la ubicación y la altura a la que se despliega, de tal manera que hay redes bentónicas (caladas al fondo), y mesopelágicas y epipelágicas, ubicadas ambas en la zona pelágica y caladas, respectivamente, a una profundidad intermedia y en superficie.

Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas.

	Código	Número de paños * Longitud (m)	Luz de malla (mm)	Longitud * Altura (m)	Esfuerzo respecto a estándar
BEN	16 * 2,5	5 - 135	40 * 1,5	1,33	
EPL	15 * 2,5	6,25 - 135	37,5 * 6	5	
MPL	15 * 2,5	6,25 - 135	37,5 * 6	5	

La unidad estándar de esfuerzo de pesca está constituida por una red de 12 paños y 1,5 m de altura (45 m²), calada durante 12 h. El esfuerzo de muestreo se ha repartido geográficamente siguiendo una previsión de hábitats o, como se suelen denominar en este tipo de trabajos, “polos de atracción”. En este caso, el diseño muestral no responde a un carácter sistemático sino estratificado por sectores y hábitats.



Figura 8. Ubicación de redes bentónicas en embalse de Margalef

3.3.2. Pesca eléctrica desde embarcación

Además de las pescas con redes, en las zonas litorales someras (hasta 2 metros), especialmente en presencia de macrófitos acuáticos o de vegetación inundada, se realizó un muestreo complementario mediante pesca eléctrica desde embarcación.

Para la pesca eléctrica se utilizó una embarcación de aluminio de 4 m eslora propulsada por un motor de cuatro tiempos de 30 HP, con una instalación fija consistente en dos plumas situadas en la proa de las que cuelgan los ánodos, y una barandilla donde se sitúa el operario que recolecta los peces. El equipo de pesca utilizado fue el Hans-Grassl GmbH EL 65 II GI (13 kW). La embarcación está provista, además, de tanques oxigenados para el mantenimiento de los peces vivos y en buenas condiciones.

La forma de proceder consiste en realizar transectos paralelos a la orilla, de los que se anotan las coordenadas y hora de inicio y fin, en los que se van recogiendo los peces que son atraídos a los ánodos. Una vez finalizado el transecto, se procesan los peces capturados. La unidad estándar de esfuerzo que se aplica es de 100 metros de orilla. Los muestreos de pesca eléctrica se realizan preferentemente en horas crepusculares.



Figura 9. Equipo de electropesca desde embarcación en el embalse de Margalef

3.4. INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES

Para presentar los resultados obtenidos, todas las posiciones contenidas en los ficheros tienen que convertirse a UTM en datum ETRS89 Huso 31. Todos los mapas e ilustraciones que se incluyen en el presente Estudio se han representado en este sistema de referencia.

El embalse se ha dividido en estratos coherentes de profundidad, que han sido debidamente cubcados mediante el modelo batimétrico digital. Esta estratificación se ha efectuado considerando los registros verticales de temperatura y oxígeno disuelto y de la penetración de la luz, obtenidos durante el muestreo, así como criterios relativos a la orientación del transductor y a la coherencia del haz acústico en horizontal.

Para cada estrato se ha realizado una interpolación espacial utilizando métodos geoestadísticos ajustados *ex profeso*, siguiendo las buenas prácticas en investigaciones de pesquerías.

Para ello en primer lugar se ha ajustado una curva al semivariograma (ver ejemplo en la Figura 10) y en base a ese modelo, se ha procedido al interpolado propiamente dicho mediante *kriging* ordinario. Con ello se obtiene una superficie continua de densidad o biomasa que permite,

además de visualizar las zonas de mayor concentración de peces, realizar estimaciones poblacionales.

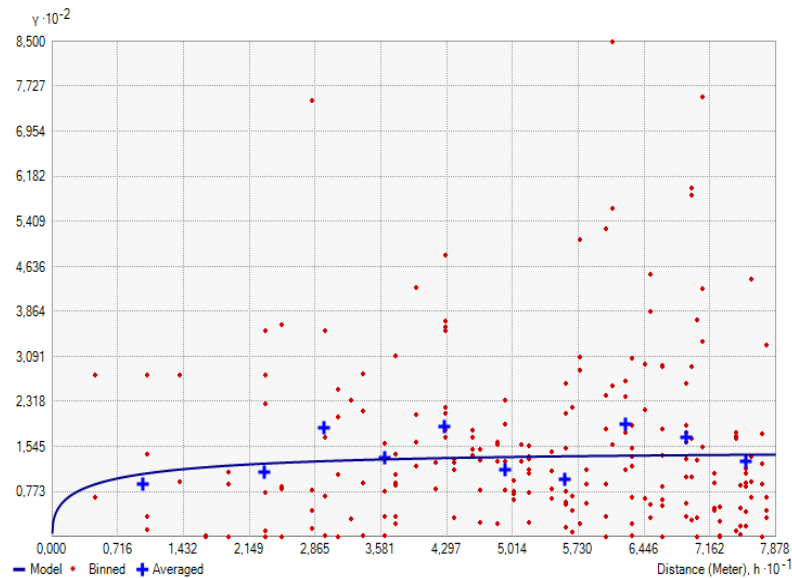


Figura 10. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial

El interpolado se realiza independientemente para cada estrato considerado, que se han nombrado utilizando la siguiente nomenclatura internacional:

- Upper Open Water (UOW): Estrato superior (L1)
- Middle Open Water (MOW): Estrato intermedio (L2)
- Lower Open Water (LOW): Estrato inferior (L3)

3.5. EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI

No existe en la actualidad un método oficial de evaluación del potencial ecológico de los embalses basado en el bioindicador peces. No obstante, se dispone de un índice biótico de calidad desarrollado previamente dentro del proyecto de I+D+i del MARM “Investigación de la respuesta hidroacústica específica y desarrollo de métodos para la evaluación cuantitativa de las comunidades de peces y del potencial ecológico en embalses” (Expte.: 082/RN08/01.1), coordinado por Ecohydros. Su cálculo puede tener interés a efectos de comparar sintéticamente la calidad entre los diferentes embalses según la composición y biomasa de las biocenosis de peces.

Esta aproximación a un índice de calidad basado en los peces se denominó QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*).

Para su desarrollo se siguió una metodología en la línea de la adoptada por el grupo europeo de intercalibración y que consiste en emplear como variable dependiente una medida del grado de presión al que está sometido el embalse (*Global Pressure Index*) y como variables independientes las métricas calculadas a partir de los datos cuantitativos de peces.

Mediante regresión logística (*stepwise*) se seleccionaron cinco métricas que combinadas generan el valor del QFBI. En la tabla siguiente se presentan las métricas empleadas y los coeficientes de la ecuación.

Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI

Métrica	Variable	Descripción	Coefficiente
		Término independiente	-2,31
M1	LOG_BIO	Logaritmo de la biomasa total del embalse expresada en g/ha	0,94
M2	LOG_BIO_native	Logaritmo de la biomasa de especies autóctonas del embalse expresada en g/ha	-1,49
M3	LOG_%_BIO_PISC_Exotic	Logaritmo del porcentaje en biomasa de especies exóticas piscívoras	6,50
M4	LOG_BIO_PISC_Exotic	Logaritmo de la biomasa de especies exóticas piscívoras expresada en g/ha	0,27
M5	LOG_BIO_ciprin_native	Logaritmo de la biomasa de ciprínidos autóctonos expresada en g/ha	0,79

O lo que es lo mismo, expresado en forma de ecuación:

$$\text{QFBI} = -2,31 + 0,94 \times M1 - 1,49 \times M2 + 6,5 \times M3 + 0,27 \times M4 + 0,79 \times M5$$

Una de las cuestiones más delicadas en la evaluación de la calidad es la fijación de los valores de corte entre clases, y principalmente el valor que separa el potencial moderado del bueno. En esta primera versión se han empleado los siguientes valores de corte:

Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico

Clase	1	2	3	4	5
Potencial	Óptimo	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
QFBI		-1	0,2	1,6	2,3

3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGIULA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL

3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA)

Para la detección de trucha común (*Salmo trutta*) y de anguila (*Anguilla anguilla*) se tomaron muestras de 1L de agua en 3 puntos del embalse a 3 niveles de profundidad en cada punto: superficial (1 m), pelágico (5 m) y bentónico (10 m).

Todas las muestras se tomaron justo antes de los muestreos directos realizados para este estudio. Inmediatamente fueron refrigeradas a bordo y congeladas al llegar a tierra para ser almacenadas hasta su procesado.

En la siguiente figura se representa la ubicación de las redes agalleras de diferente tipo utilizadas en el muestreo directo de peces, así como los recorridos de pesca eléctrica y los puntos de registro físico-químico y de muestreo de eDNA.

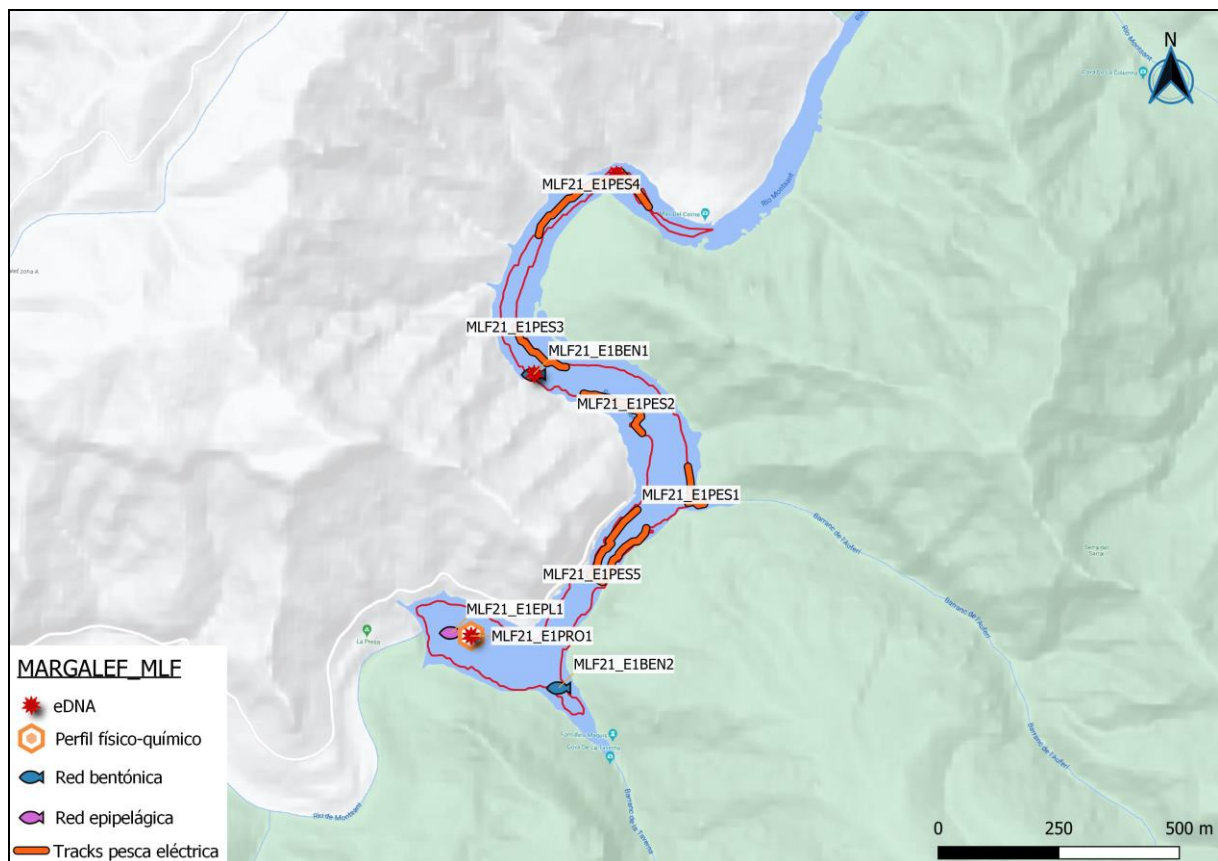


Figura 11. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en el embalse de Margalef

3.6.2. Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua

Para aislar el ADN presente en el agua del embalse fue preciso filtrar las muestras con bombas de presión negativa y filtros de 0,2 micras de poro, en condiciones de esterilidad y bajo estrictos controles para evitar posibles contaminaciones de las muestras. Así pues, las muestras se filtraron en un laboratorio aislado y todos los materiales que no fueran desechables se esterilizaron entre cada una de las muestras.

La extracción de ADN se realizó en cabina de flujo laminar con luz ultravioleta (UV), empleando el kit para muestras de agua “*DNeasy Power Water Kit*” de Qiagen. Una vez aislado el ADN de las muestras ambientales, las extracciones se conservaron congeladas (-20°C) hasta su posterior análisis.

Antes de proceder con los análisis específicos de detección de trucha común y de anguila, fue preciso confirmar la calidad e integridad de las muestras. Para ello, el ADN ambiental aislado se amplificó con un marcador genético universal del gen ribosomal 18s. Esto permite por un lado confirmar la presencia de ADN en las muestras, ya que este marcador amplifica multitud de organismos, y por otro lado descartar la presencia de inhibidores de la amplificación por PCR, comunes en las muestras ambientales.

La detección del marcador universal del gen ribosomal se realizó en un termociclador de PCR convencional modelo *Verity Blue* (*Life Technologies, Inc., Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA*). Las detecciones tanto de trucha común como de anguila europea se realizaron en un termociclador *7,900 HT Fast Real- Time PCR System* (*Life Technologies, Inc., Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA*). Todas las amplificaciones se replicaron en el laboratorio, repitiendo los análisis en ocasiones diferentes, correspondientes a días distintos, para asegurar la consistencia y fiabilidad de los datos.

3.6.3. Detección específica de trucha común

Para la detección de trucha común se utilizó un marcador específico y una sonda *TaqMan MGB* (Gustavson et al., 2015, siguiendo las recomendaciones de Fernández et al 2018). El marcador específico de *Salmo trutta* se une y amplifica únicamente el ADN de trucha común, no de otros organismos ni de otras especies de trucha. Si en la muestra ambiental no hay ADN de *Salmo trutta*, no habrá amplificación, ni por tanto señal, ya que la sonda no emitirá fluorescencia.

Cuando se produce amplificación, porque hay coincidencia del código de los cebadores (o *primers*) con el del ADN de la muestra, se libera un extremo de la sonda, que pasa a emitir fluorescencia. Con ello es posible detectar, mediante la lectura de fluorescencia, la presencia de la especie y adicionalmente, mediante cálculos, la cantidad de ADN de trucha presente en la muestra.

3.6.4. Detección específica de anguila europea

Para la detección de anguila europea se utilizó un marcador específico de desarrollo propio y validado por Ecohydros tanto *in vitro* como *in situ*. El marcador específico de *Anguilla anguilla* funciona igual que el previamente descrito para *Salmo trutta*; se une y amplifica únicamente el ADN de anguila, pero no el de otros organismos.

3.6.5. Estimaciones de biomasa

La metodología de PCR cuantitativa (qPCR) permite estimar la cantidad de ADN de la muestra a través de cálculos derivados del número de moléculas presentes en la muestra ambiental analizada, y de su composición molecular.

Se calculó una recta patrón de diluciones seriadas con amplicones del fragmento especie-específico del marcador utilizado para la detección de trucha y por otro lado de anguila, obtenido mediante PCR convencional de una muestra certificada de trucha común o anguila, dependiendo del caso. Para poder obtener dicha recta patrón, se cuantificó mediante fluorimetría la concentración de amplicones utilizada, pudiendo así calcular posteriormente la concentración de las muestras que corten la recta patrón. La cantidad de ADN se transforma a moléculas por mL gracias a que conocemos la composición molecular de las secuencias del amplicón correspondiente.

Todos los ensayos realizados con los amplicones y con tejido de trucha y anguila se realizaron por separado, en una sala de laboratorio diferente, aislados de las muestras ambientales, para evitar cualquier posible contaminación cruzada.

4. RESULTADOS

4.1. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES

Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 3,9 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (Da) de 11,9. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico se presentan en la Figura 12.

Obsérvese que los recorridos realizados se circunscriben al contorno del agua (rojo) establecido a partir del análisis de imágenes de satélite en fechas cercanas al muestreo y la batimetría realizada y proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Mediante el método descrito, se ha obtenido una estimación de densidad en celdas de 50 m y también la talla acústica corregida de cada uno de los blancos y rastros (“*tracks*”) de peces.

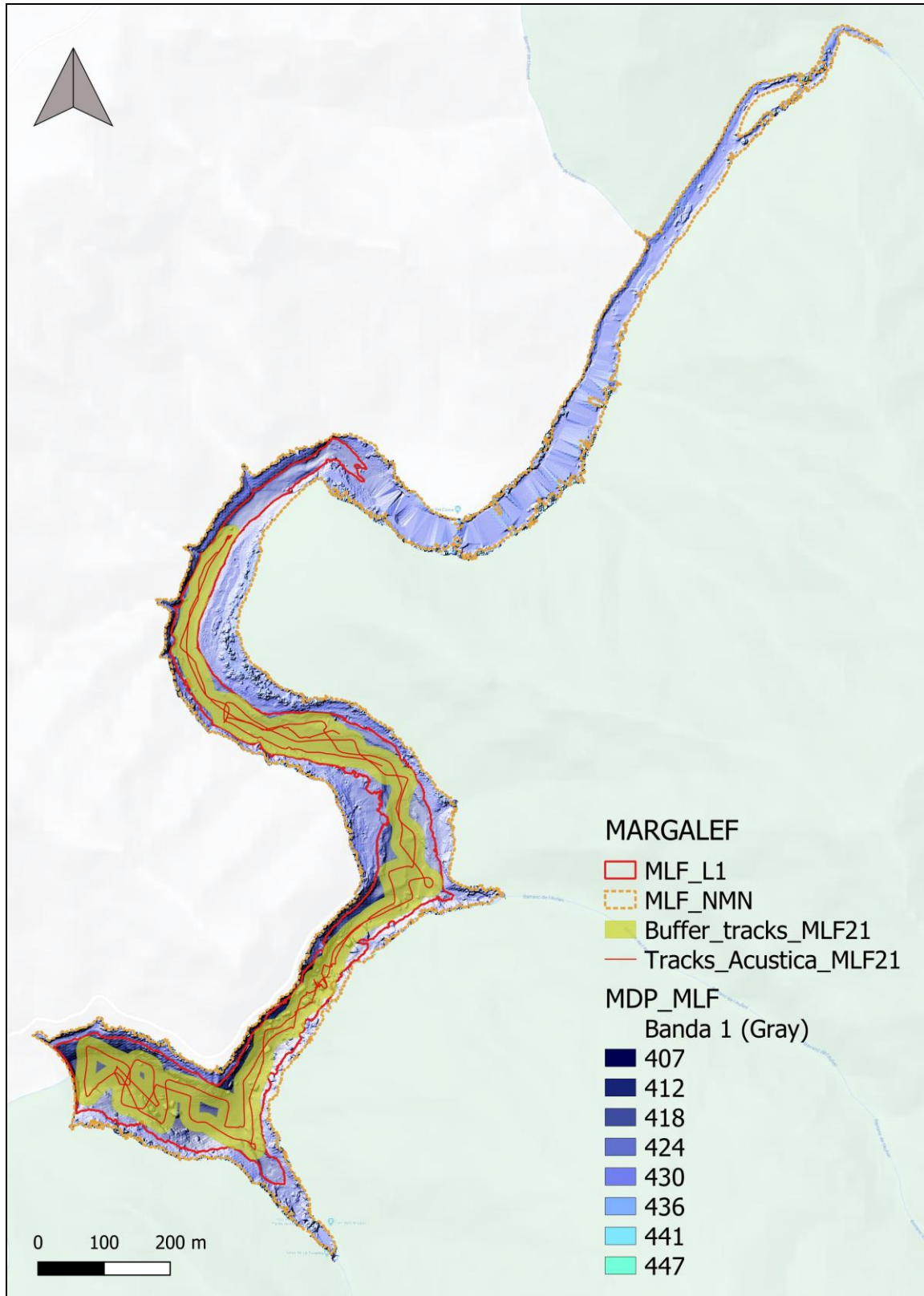


Figura 12. Recorridos del sondeo hidroacústico en el embalse de Margalef

En la Figura 13 se muestra un ejemplo de ecograma durante el muestreo acústico en el embalse de Margalef realizado con haz vertical. En color rojo se aprecia el fondo del embalse con una profundidad máxima de 25 metros; se observan taludes que suben hasta los 7 metros de la superficie. Se observan cortinas de burbujas que emanan de las zonas más profundas y llegan hasta la superficie, entre las que existen de peces no distinguibles a simple vista y cuya separación requiere técnicas especiales de análisis de los ecogramas.

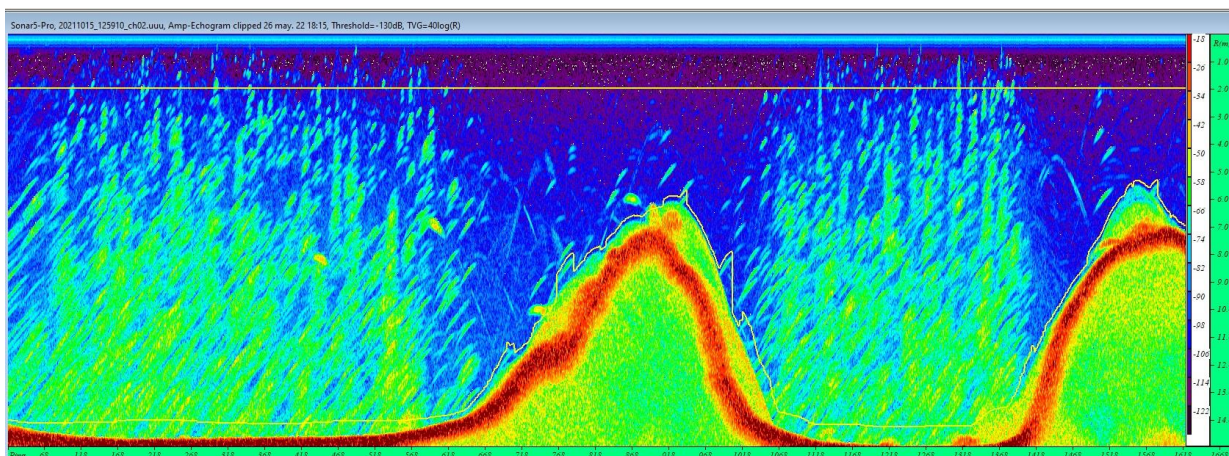


Figura 13. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Margalef

En la Tabla 5 se ofrecen los estadísticos descriptivos por estratos, tanto para el ecosondeo horizontal como para el vertical. La densidad se ha expresado en individuos por decámetro cúbico ($1 \text{ dam}^3 = 1.000 \text{ m}^3$).

Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam³) por estratos, estimada mediante acústica

Embalse	Sector	Estrato	Densidad media (ind/1000m ³)	Densidad máxima (ind/1000m ³)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
MLF21	1	1	2,07	34	78	7	4,6
MLF21		2	2,04	38	46	37	7,5

Estos valores medios se han ponderado con el volumen de cada estrato y sector (Tabla 1), para obtener una densidad total del embalse de $2,06 \pm 0,46 \text{ ind/dam}^3$. Se trata de un valor bajo, propio de sistemas poco productivos y de embalses con carácter oligotrófico.

Los valores son similares en ambos estratos debido a que las condiciones físico-químicas del agua a lo largo de columna de agua son óptimas para la vida íctica. En todo caso, el estrato profundo representa la mitad de la superficie y volumen que el estrato superficial.

En las figuras siguientes se presenta la disposición geográfica de las celdas de análisis para cada uno de los estratos y se representa mediante símbolos graduados la densidad de cada celda de análisis.

Se ha empleado el método de *Jenks "Natural breaks optimization"* para establecer los valores de corte de los datos de densidad. Es un método de agrupamiento de datos diseñado para determinar la mejor disposición de valores en diferentes clases. El método busca reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre las clases. Por ello, las clases de valores obtenidas pueden ser diferentes para cada grupo de casos (estratos).

Las estimaciones de densidad por celdas en el estrato superior (UOW) presentan valores más altos en la zona posterior del embalse (Figura 14), aunque el valor más alto se produce en la zona central. Estos valores altos están influidos por las madrillas, que presentan el comportamiento más gregario de las especies presentes.

En el estrato inferior (LOW) los valores de densidad están en rangos similares y los más altos se distribuyen en la zona más alejada de la presa, en el límite posterior de este estrato (Figura 15).

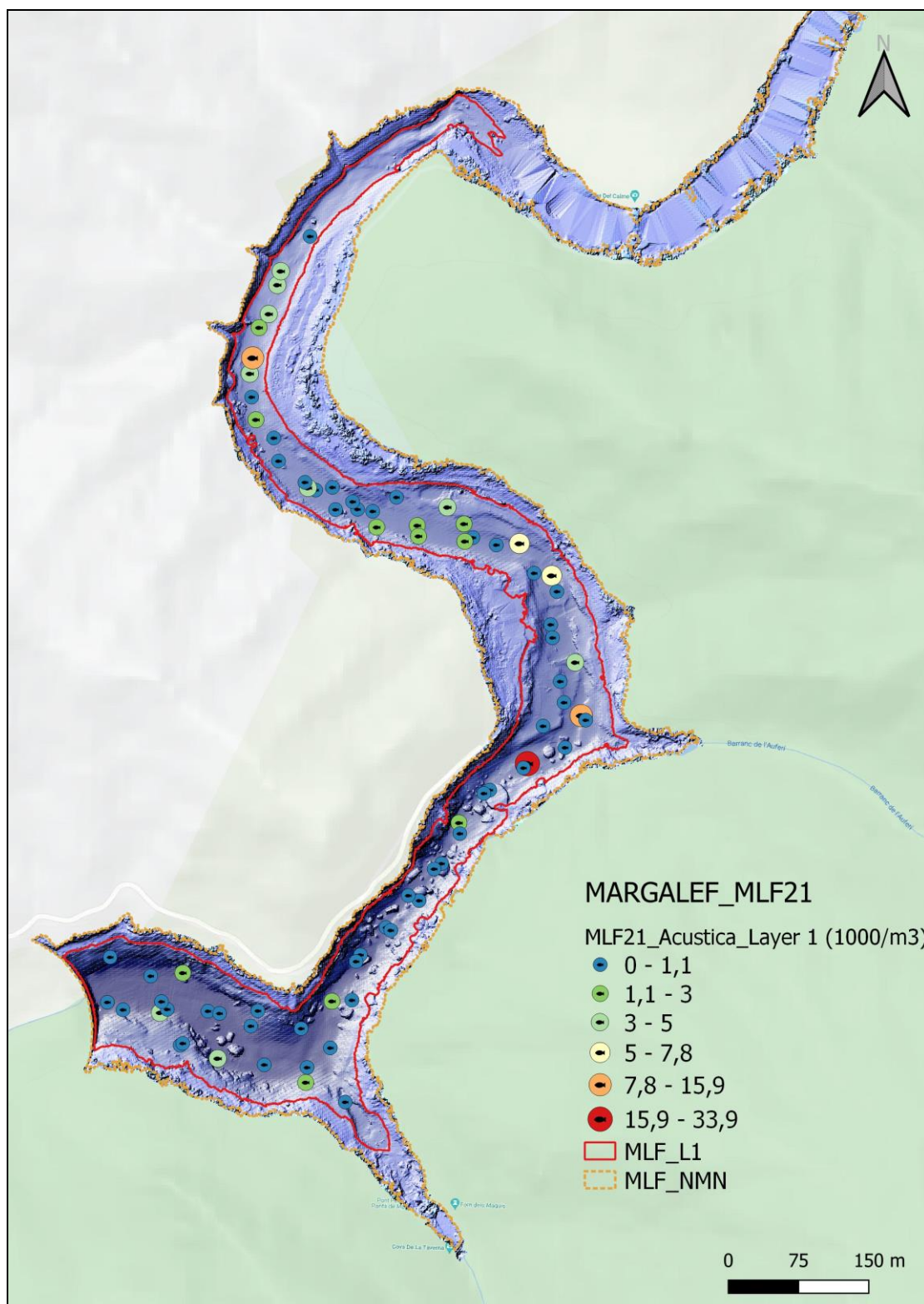


Figura 14. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

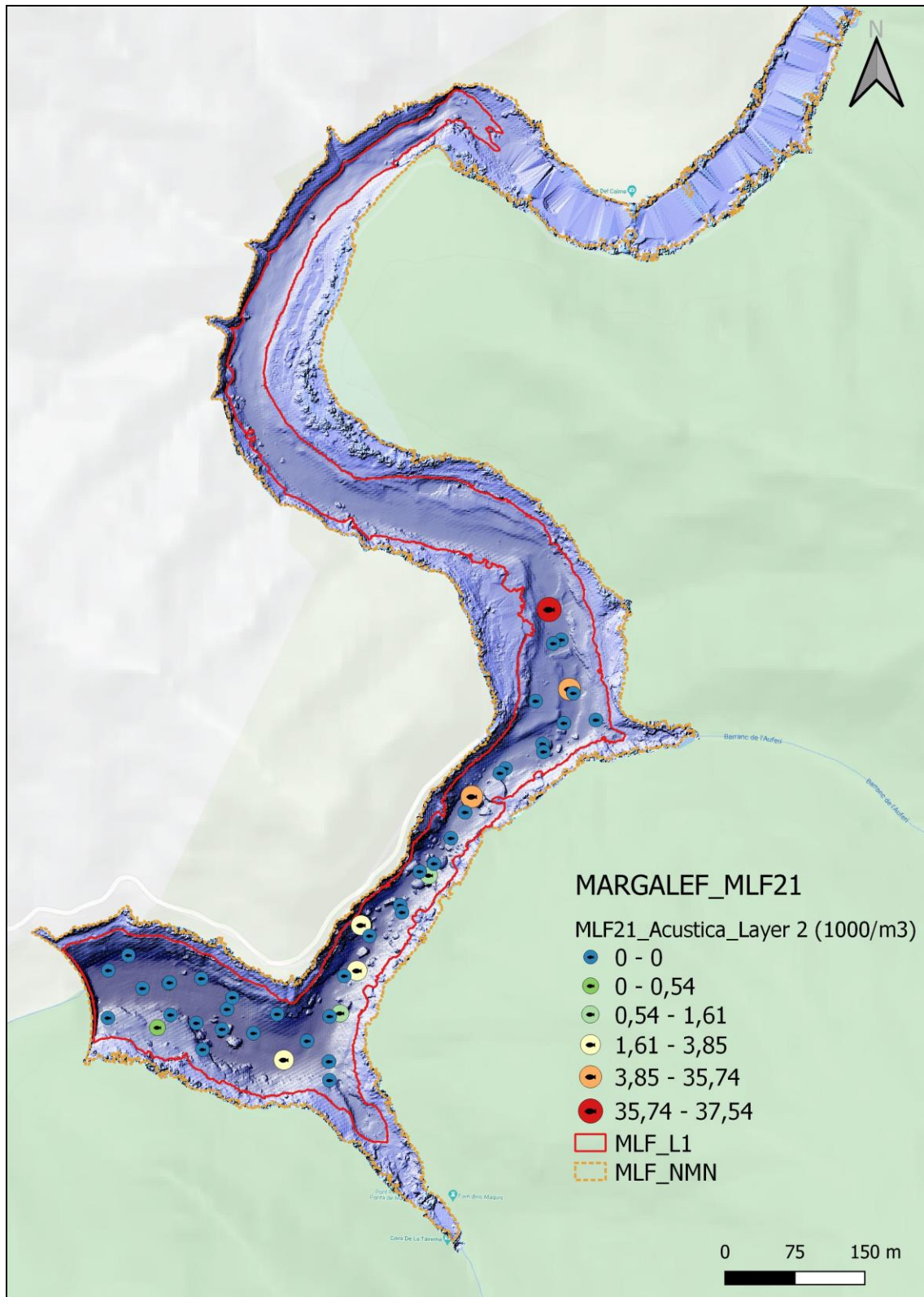


Figura 15. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

4.1.1. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de densidad obtenidos en el embalse de Margalef, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro donde se ha trabajado con técnicas hidroacústicas y se dispone de datos cuantitativos. La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados, en la que los embalses de Ribarroja, Moneva y Maidevera constituyen extremos, muy separados del resto por el lado superior de la distribución.

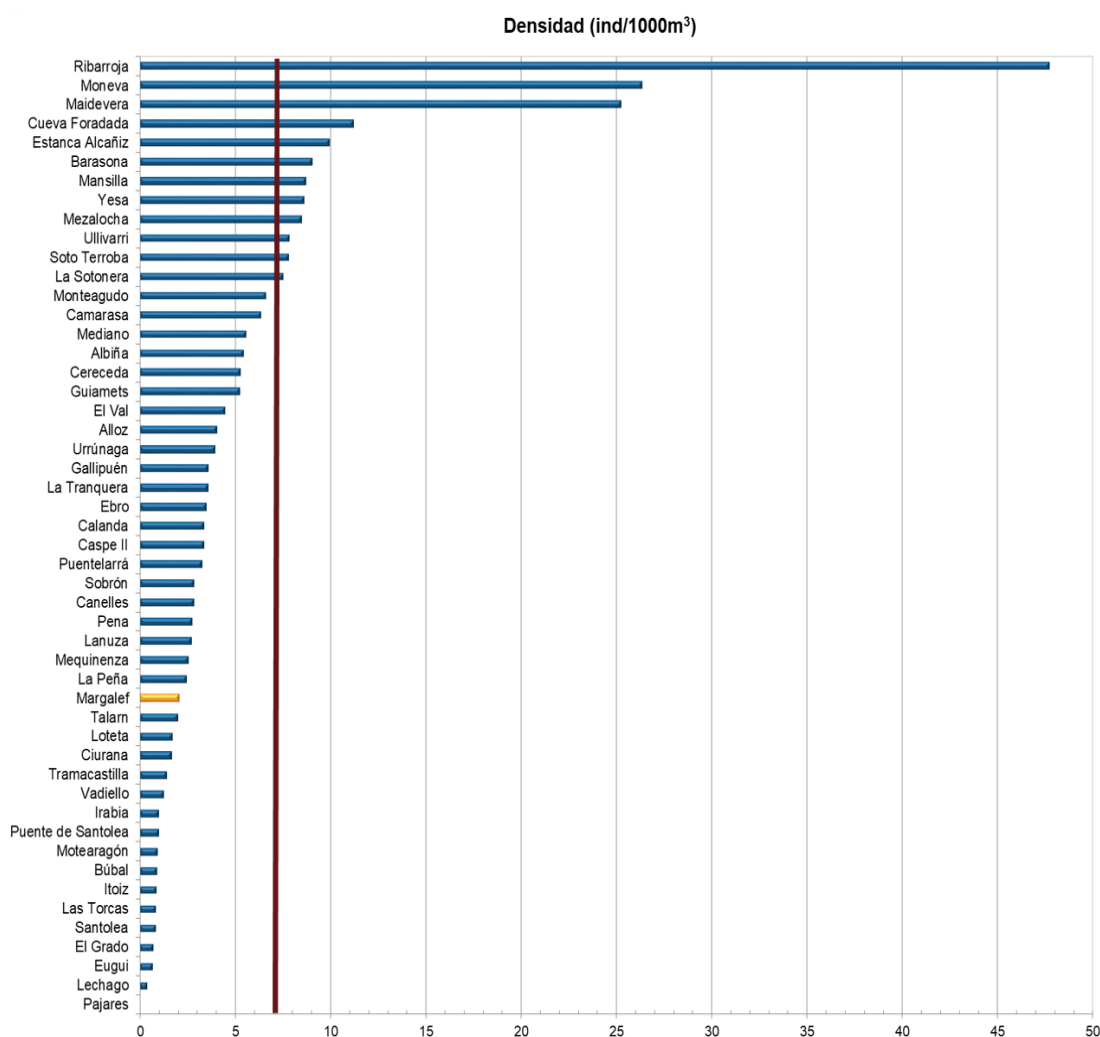


Figura 16. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro

El valor de densidad obtenido para el embalse de Margalef queda muy por debajo del valor medio, cerca del percentil 15 en el conjunto de embalses estudiados en la cuenca del Ebro, y se puede considerar bajo en el contexto de la demarcación hidrográfica del Ebro.

4.2. MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA

Los muestreos directos se han realizado mediante pesca con redes agalleras multipaño según se describen en la norma CEN 14.757 y mediante pesca eléctrica desde embarcación en las zonas litorales someras.

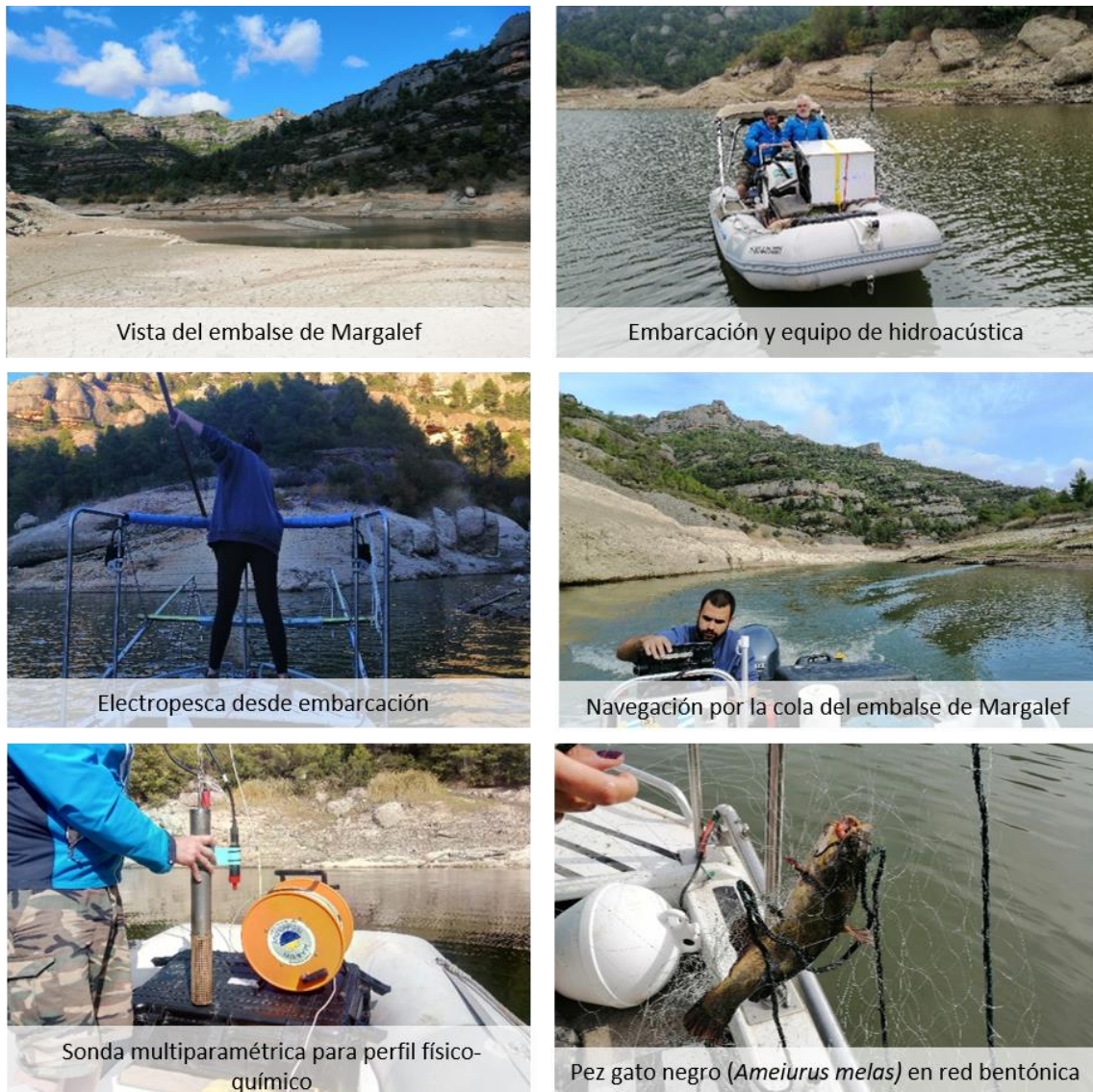


Figura 17. Tareas ejecutadas por los técnicos durante los muestreos directos de peces en el embalse de Margalef

4.2.1. Especies presentes en el embalse

De las cuatro (4) especies detectadas en los muestreos de diferente tipo realizados en el embalse de Margalef, solamente dos son autóctonas: barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*) y madrilla (*Parachondostroma miegii*).

Tabla 6. Especies presentes en el embalse

Nombre común	Nombre científico	Autóctono/alóctono
<i>Luciobarbus graellsii</i>	Barbo de Graells	Autóctono
<i>Micropterus salmoides</i>	Perca americana / Black bass	Alóctono
<i>Parachondostroma miegii</i>	Madrilla	Autóctono
<i>Ameiurus melas</i>	Pez gato negro	Alóctono

Se trata de una biocenosis recientemente afectada en su composición por especies exóticas invasoras, como el black bass. La aparición del pez gato negro es aún más preocupante si cabe, debido a sus hábitos oportunistas y su gran resistencia frente a condiciones ambientales extremas (alta temperatura, turbidez y contaminación) que suponen una presión adicional muy alta sobre las especies autóctonas de peces (Leunda et al., 2008).

4.2.2. Composición y distribución de especies

Capturas con redes

El total de capturas con redes agalleras fue de 33 ejemplares, con un peso total de 17,55 kg, lo que supone 14 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 6,9 kg de biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 3 redes en 17,5 horas de pesca (11,40 unidades de esfuerzo). En la Figura 11 se representa la ubicación de las redes de muestreo y los recorridos de pesca eléctrica.

Tabla 7. Redes utilizadas durante los muestreos directos en el embalse de Margalef

Tipo de lance	Código	Número de paños	Longitud (m)	Altura (m)	Esfuerzo
Red bentónica	MLF21_E1BEN1	16	40	1,5	2,06 45m ² /12h
Red bentónica	MLF21_E1BEN2	16	40	1,5	1,94 45m ² /12h
Red epipelágica	MLF21_E1EPL1	16	40	6	7,41 45m ² /12h

En la Tabla 8 y en la Figura 18, se facilitan los resultados obtenidos de las redes, agregados por especies y para cada uno de los estratos del embalse.

Los términos empleados para describir la asociación de peces del embalse se describen en el Glosario al final del documento.

Tabla 8. Resultados de las pescas con red por especies

	Capturas	CPUE (ind/ud. esf.)	CPUE (%)	Biomasa (g)	BPUE (g/ud. esf.)	BPUE (%)	Longitud furcal media (mm)	Peso medio (g)
<i>Luciobarbus graellsii</i>	25	10	73	16.296	6.392	92	361	652
<i>Micropterus salmoides</i>	1	1	3,8	87	45	0,6	186	87
<i>Parachondostroma miegii</i>	6	3	20	841	374	5	208	140
<i>Ameiurus melas</i>	1	0	4	335	163	2	295	335
Total	33	14	100,0	17.559	6.973	100,0	326	532



Figura 18. Composición de la asociación obtenida mediante redes

La asociación caracterizada por esta técnica de muestreo está dominada (73%) en términos de abundancia por el barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*). La madrilla (*Parachondostroma miegii*) es la otra especie que presenta una abundancia de cierta entidad (20%), por lo que predominan las especies autóctonas. En el caso de la biomasa, estas dos especies suman el 97% del total, pero en este caso la dominancia del barbo es aún mayor (92%). Las dos especies exóticas e invasoras (black bass y pez gato) tienen una representación baja (7% en abundancia y 3% en biomasa), lo que parece indicar una colonización aún incipiente. No obstante, hay que señalar que el pez gato podría ser más esquivo a las técnicas de pesca empleadas y su capturabilidad menor.

En la Figura 19 se muestran los histogramas de frecuencias de las capturas por clases de talla de 5 mm. Se han incluido las capturas realizadas mediante pesca eléctrica, cuyos resultados se exponen en el apartado siguiente.

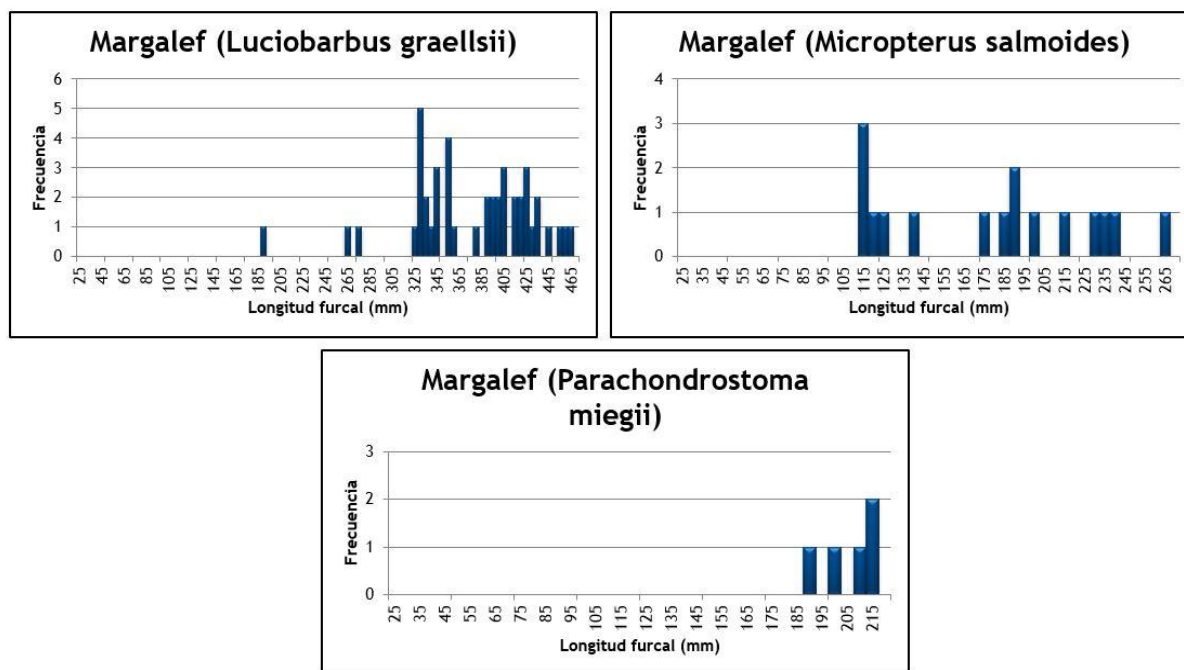


Figura 19. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm

Dos de las especies capturadas, barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*) y black bass (*Micropterus salmoides*) presentan poblaciones razonablemente estructuradas, con ejemplares de diferentes clases de edad, lo que indica su éxito reproductor en el embalse. En el caso de la madrilla (*Parachondrostoma miegii*) todos los individuos capturados presentan una talla similar y de varios años de edad.

Resultados de la pesca eléctrica

El rendimiento de la pesca eléctrica fue inferior al de las redes, con una captura total de 34 peces con un peso total de 17,43 kilos, lo que supone 15 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 6,68 kg de BPUE. Se realizaron un total de tres transectos que cubrieron 1,15 km de orilla.

Tabla 9. Tracks de pesca eléctrica realizadas durante los muestreos directos en el embalse de Margalef

Tipo de lance	Código	Esfuerzo
Pesca eléctrica	MLF21_E1PES1	132 m
Pesca eléctrica	MLF21_E1PES2	182 m
Pesca eléctrica	MLF21_E1PES3	147 m
Pesca eléctrica	MLF21_E1PES4	321 m
Pesca eléctrica	MLF21_E1PES5	365 m

La ubicación de los transectos de muestreo de electropesca se puede observar en el mapa de la Figura 12 y en el boletín de campo del Anexo I, donde se presentó, además, la ubicación de las redes.

En la tabla siguiente se facilitan los resultados obtenidos, agregados por especies. Se capturaron únicamente dos de las cuatro especies capturadas con las redes agalleras: una especie autóctona, el barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*) y otra alóctona, el black bass (*Micropterus salmoides*).

Tabla 10. Resultados de la pesca eléctrica por especies

	Capturas	CPUE (ind/ud. esf.)	% CPUE	Biomasa (g)	BPUE (g/ud. esf.)	% BPUE	Longitud fural media (mm)	Peso medio (g)
<i>Luciobarbus graellsii</i>	19	7,96	53,05	16.048	5.982,1	89,51	392	845
<i>Micropterus salmoides</i>	15	7,0	47,0	1.385	701,3	10,5	176	92
Total	34	15,0	100,0	17.433	6.683,4	100,0	297	513



Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica

Al igual que ocurre en los muestreos realizados con redes agalleras, la asociación detectada con la técnica de electropesca desde embarcación, está dominada por el barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*), tanto en términos de abundancia como de biomasa, (53% y 90% respectivamente).

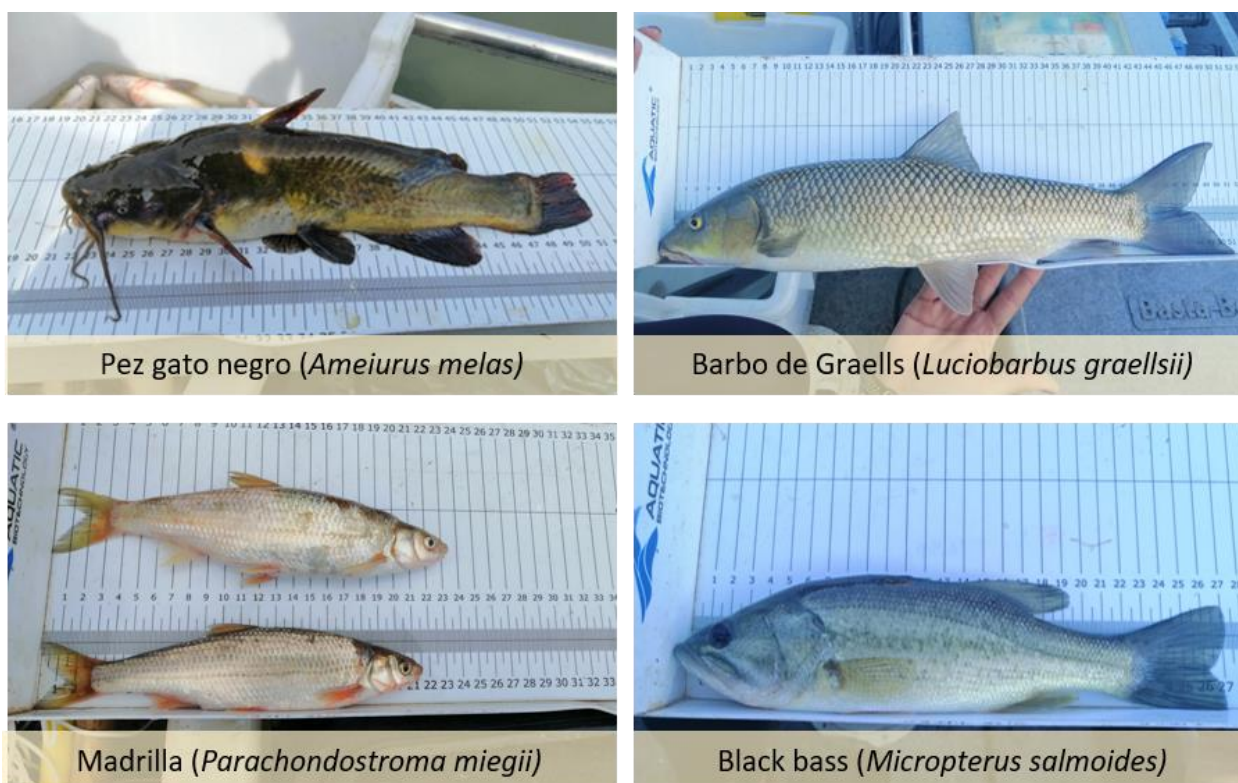


Figura 21 Composición de gráficas longitud-peso de las diferentes especies capturadas

4.3. BIOMASA

Los resultados obtenidos mediante las dos técnicas de prospección (hidroacústica y muestreo directo) se combinan para obtener unas estimaciones de densidad y biomasa por especies para el conjunto del embalse.

Tabla 11. Biomasa de peces por estratos (g/m^2) estimada mediante acústica

Embalse	Sector	Estrato	Biomasa media (g/m^2)	Biomasa máxima (g/m^2)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
MLF21	1	1	5,80	95	78	7	12,78
MLF21		2	0,82	15	46	37	2,75

La biomasa media del embalse se calcula sumando las biomásas de cada uno de los estratos y refiriéndolo a la superficie del embalse. De esta manera se obtiene una biomasa media de $6,19 \pm 1,37 \text{ g/m}^2$, o lo que es lo mismo $62,4 \text{ kg/ha}$. Se trata de un valor moderado de biomasa, pero que está por encima de lo esperado en un embalse oligotrófico.

En los mapas de las figuras que se muestran a continuación se sitúan geográficamente las celdas de análisis para cada uno de los estratos y se representa mediante símbolos graduados la biomasa de cada celda de análisis. Al igual que en el caso de la densidad, se ha empleado el método de Jenks “*Natural breaks optimization*” para establecer los valores de corte de los datos de biomasa.

En general, los valores de biomasa de peces en el embalse de Margalef son intermedios, con solamente 3 casos (celdas) con valores por encima de 200 kg/ha . En este caso, los valores son sensiblemente más altos en el estrato superior (UOW) que en el profundo (LOW), de lo que se infiere que los barbos tienen preferencia por el primero y las madrillas por el segundo.

Al igual que ocurría con la densidad, las celdas con valores más altos de biomasa se distribuyen más hacia la cola del embalse (Figura 22), pero en el caso del estrato inferior (LOW) hay un máximo en una zona profunda cercana a la presa (Figura 23).

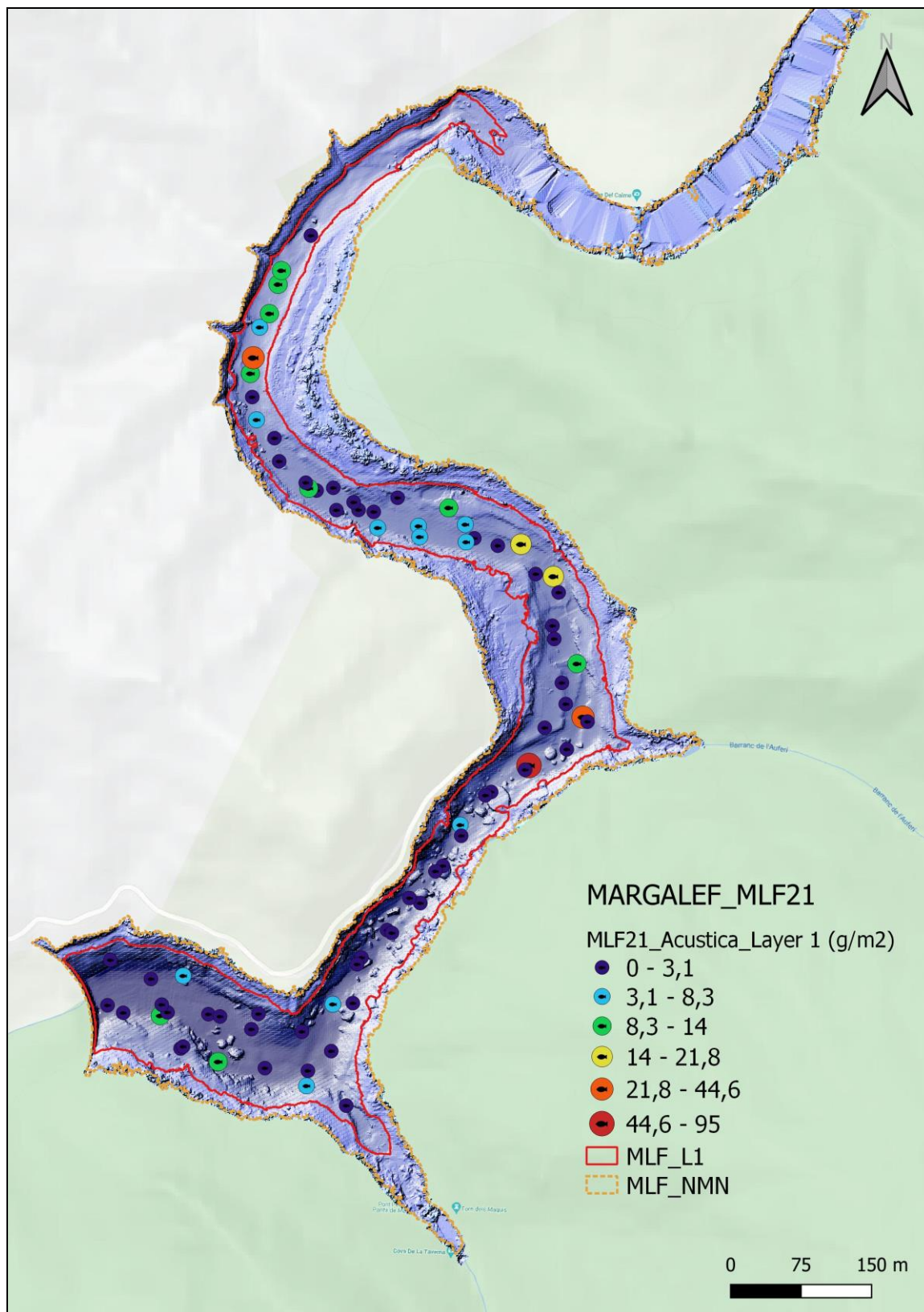


Figura 22. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

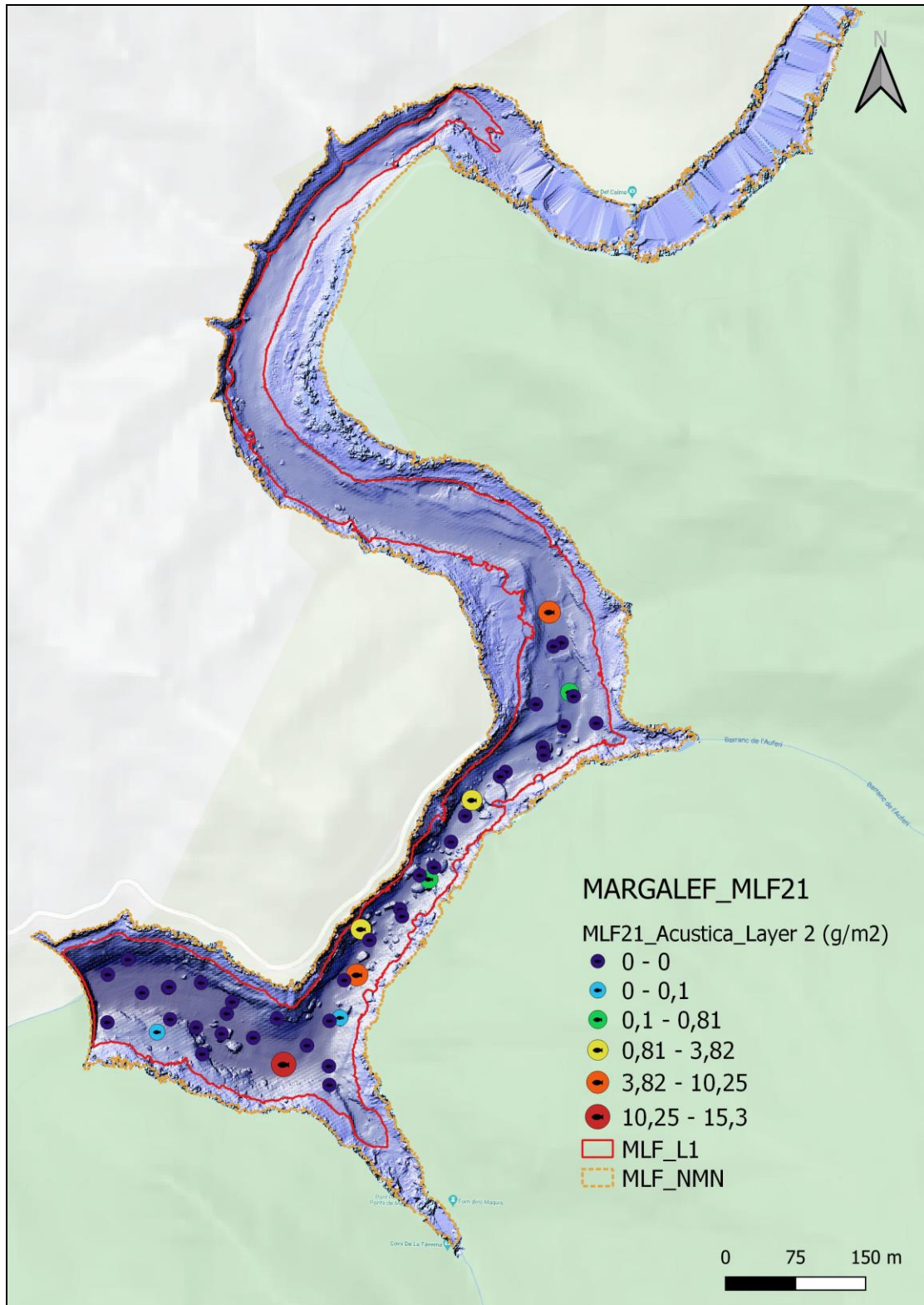


Figura 23. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

4.3.1. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de biomasa obtenidos en el embalse de Margalef, en relación con otros embalses de la cuenca del Ebro cuyas poblaciones de peces se han evaluado con técnicas hidroacústicas y para los que se dispone de datos cuantitativos de densidad y biomasa. La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados.

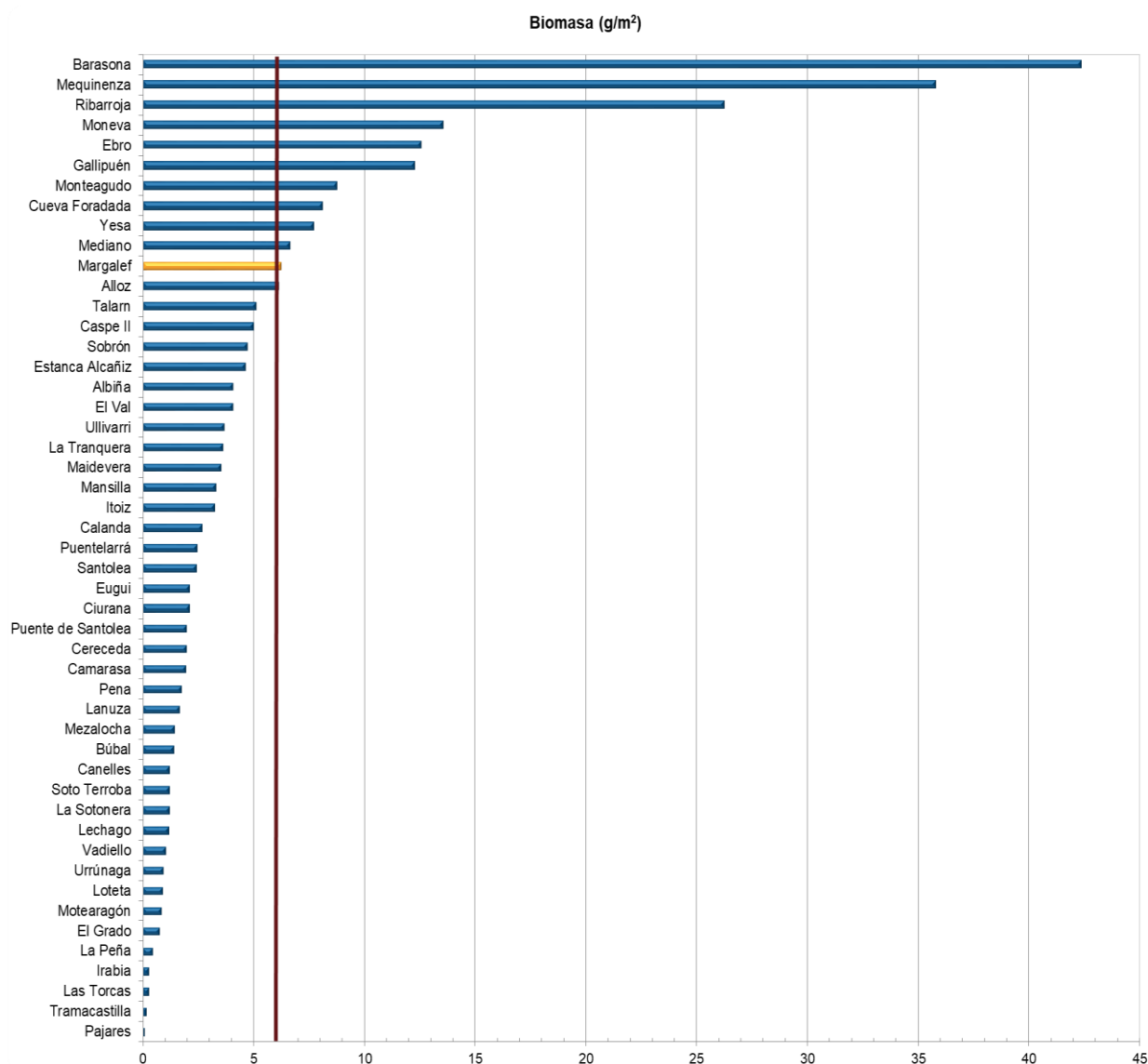


Figura 24. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro

Como puede apreciarse, la biomasa del embalse de Margalef está en el entorno del valor medio de biomasa y próximo al percentil 80 en el contexto de los 50 embalses estudiados en la Demarcación Hidrográfica del Ebro. La nutrida población de barbos de tallas adultas contribuye a este efecto.

4.4. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES

Para obtener una estimación de las densidades y biomásas por especies, se aplica la distribución de especies obtenida mediante muestreo directo a las densidades y biomásas obtenidas mediante acústica.

En la Tabla 12 se ha calculado la densidad y biomasa relativas por especie, referidas a volumen (dam^3) y superficie (m^2) respectivamente, para el conjunto del embalse.

Tabla 12. Densidades (ind/dam^3) y biomásas (g/m^2) por especie

	Densidad media (ind/dam^3)	Abundancia (%)	Biomasa media (g/m^2)	Biomasa (%)	Abundancia Total (ind)	Peso total (kg)
<i>Luciobarbus grellsii</i>	1,29	62,4%	5,61	90,6%	708	493
<i>Micropterus salmoides</i>	0,55	26,5%	0,34	5,5%	301	30
<i>Parachondostroma miegii</i>	0,19	9,4%	0,17	2,7%	106	15
<i>Ameiurus melas</i>	0,04	1,7%	0,07	1,2%	19	6
Total	2,06	100%	6,19	100%	1.134	544
Intervalo de Confianza (I.C)	0,46	-	1,37	-	252	121

En este cuadro se resumen las estimaciones ya expuestas en cuanto a la densidad y biomasa de las especies, así como su importancia relativa en la asociación de peces del embalse. En términos absolutos se estima una población de 1.134 ± 252 peces con una biomasa de 544 ± 121 kilogramos. Estos valores absolutos deben usarse con cautela. Es más apropiado trabajar con los valores de densidad y biomasa por unidad de volumen y superficie (respectivamente), que permiten comparar diferentes sistemas.

4.5. MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL

4.5.1. Muestras ambientales de agua

El proceso de filtración de las muestras de agua, así como el de extracción del ADN ambiental se completó sin incidencias.

Todas las muestras ambientales del agua del embalse de Margalef pasaron los controles de calidad, amplificando con éxito el marcador universal, es decir, confirmando la existencia de ADN ambiental en las muestras y la ausencia de inhibidores de la PCR.

4.5.2. Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa.

No se ha detectado ADN de trucha común en las muestras ambientales del embalse de Margalef.

Se obtuvieron dos rectas patrón con un alto grado de ajuste ($R^2_A=0,997$ y $R^2_B=0,991$). Ambas rectas patrón corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas independientemente para confirmar los resultados obtenidos en los análisis realizados.

Tabla 13. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de trucha común

	Recta patrón A	Recta patrón B
<i>Pendiente</i>	-4,110	-3,925
<i>Intercepto</i>	-2,672	-1,266
R^2	0,997	0,991

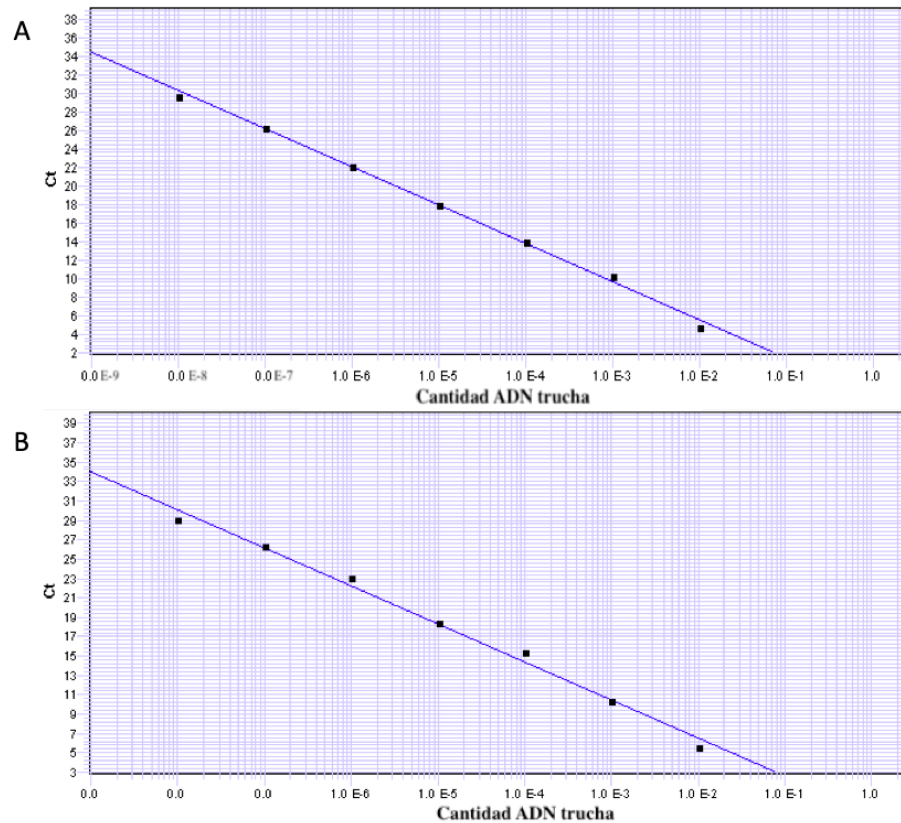


Figura 25. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (C_f) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas

La metodología empleada en estos análisis ha permitido optimizar la detección de trucha en muestras de agua con un límite de detección extremadamente sensible, correspondiente a una concentración mínima de ADN detectada de 0,05 fg/L o 99 moléculas de ADN de trucha común por litro analizado.

Se ha utilizado un método específico de alta sensibilidad basado en la detección genética mediante ADN ambiental de moléculas de ADN de trucha en agua, con el cual no se ha podido verificar la presencia de trucha común en el embalse de Margalef. En esta ocasión, el resultado coincide con el obtenido en los muestreos directos, en los que tampoco se obtuvo ningún ejemplar de trucha común. Se deduce de estos resultados que esta especie no habita actualmente en las aguas del embalse.

4.5.3. Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa.

Tras los análisis, ninguna muestra de ADN ambiental resultó positiva en ADN ambiental de anguila europea en el agua del embalse de Margalef.

Se obtuvieron dos rectas patrón con un alto grado de ajuste ($R^2=0.990$, $R^3= 0.995$), correspondientes a las réplicas de laboratorio independientes de los análisis realizados para confirmar los resultados obtenidos.

Tabla 14. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de anguila europea

	Recta patrón A	Recta patrón B
<i>Pendiente</i>	-3,575	-3,686
<i>Intercepto</i>	-0,352	-0,888
R^2	0,990	0,995

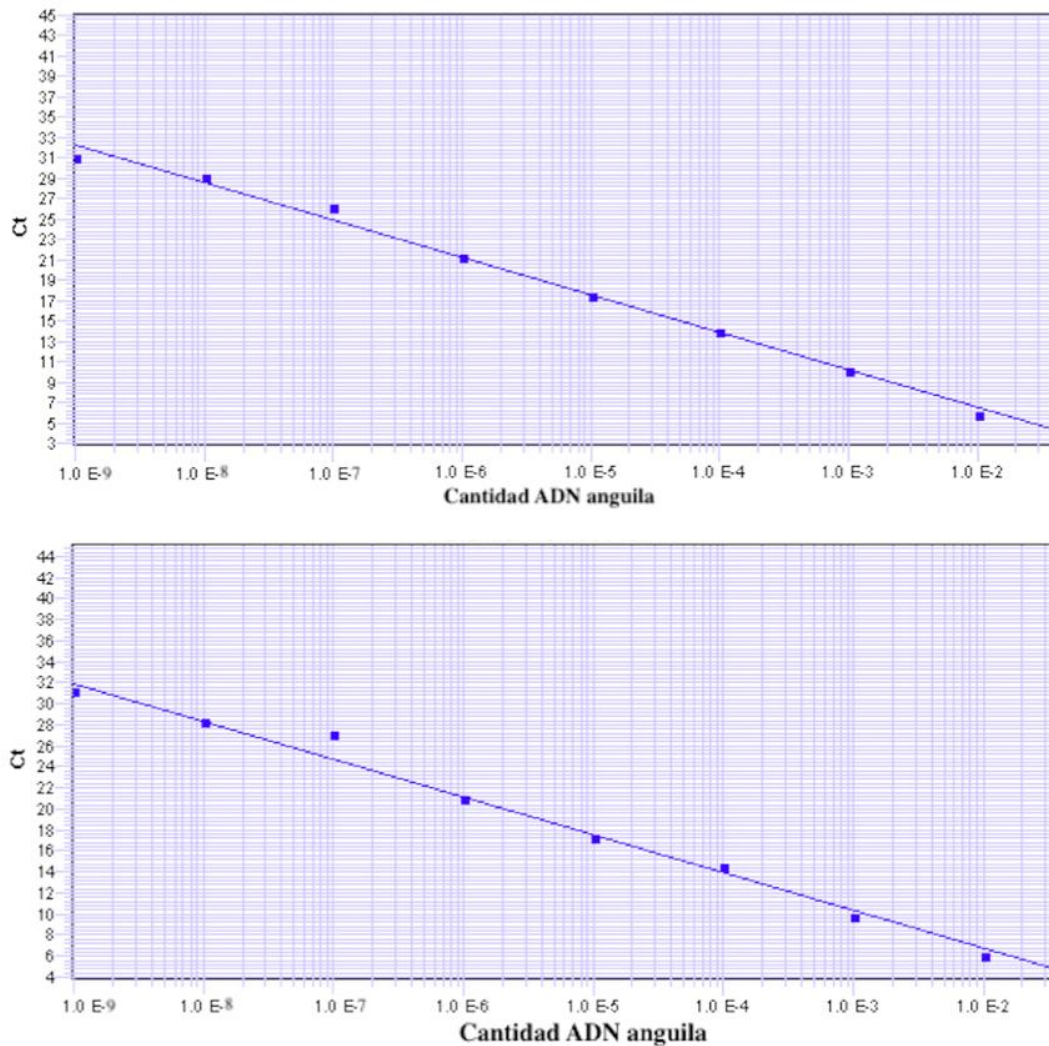


Figura 26. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas

La metodología empleada en estos análisis ha permitido optimizar la detección de anguila europea en muestras de agua con un límite de detección extremadamente sensible, correspondiente a una concentración mínima de ADN detectada de 10^{-2} fg/L o 50 moléculas de ADN de anguila europea por litro de muestra analizado.

A pesar de haber utilizado un método específico de alta sensibilidad basado en la detección genética mediante ADN ambiental, no se ha podido detectar la presencia de anguila en el embalse de Margalef, confirmando en este caso los resultados obtenidos en los muestreos directos. Esto implica que, con muy alta probabilidad, la anguila no habita esta masa de agua.

5. VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI

Aunque este método de muestreo se ha aplicado en una reducida población de embalses de la Península Ibérica, los resultados permiten una comparación objetiva y normalizada según el índice biótico sintético QFBI.

Este ejercicio es posible gracias al carácter sistemático de los muestreos, que proporciona información estandarizada sobre la densidad y biomasa de cada una de las especies. El mencionado índice permite a su vez comparar mediante una sola variable, la relación de la ictiocenosis con las características ambientales de cada masa de agua, tanto naturales como derivadas de presiones concretas, y también con la influencia del manejo hidráulico y su interacción con otros factores de presión.

Como se ha apuntado en el apartado de metodología, se ha aplicado el QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*) en una versión todavía experimental. Según esta metodología., la calidad del embalse según los peces sería “Buena”. En la Tabla 15 se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el embalse de Margalef.

Tabla 15. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Margalef

Métrica	Embalse
	MLF21
LOG_BIO	3,80
LOG_BIO_native	3,77
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,03
LOG_BIO_PISC_Exotic	2,63
LOG_BIO_ciprin_native	3,77
QFBI	-0,48
Calidad	Buena

Este resultado se explica por la alta biomasa del barbo de Graells y los valores tan bajos de biomasa de las dos especies exóticas invasoras censadas (black bass y pez gato negro). Es previsible que, a medida que estas últimas incrementen sus poblaciones, las de barbo y madrilla se vean negativamente afectadas, por lo que el índice presentará una tendencia a empeorar.

6. CONCLUSIONES

La posibilidad de censar cuantitativamente las asociaciones de peces de los embalses ofrece evidentes ventajas sobre las técnicas más cualitativas, puesto que permiten responder a los requisitos de la DMA en este indicador, pero también completar el conocimiento limnológico, la incidencia potencial de los peces en el estado del ecosistema y orientar medidas de gestión de la pesca y de manejo de poblaciones.

De las cuatro especies detectadas en los muestreos realizados en el embalse de Margalef mediante pescas eléctricas y redes científicas, dos de ellas son autóctonas: barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*) y madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y las otras dos especies son alóctonas: black bass (*Micropterus salmoides*) y pez gato negro (*Ameiurus melas*).

En el caso de la trucha común (*Salmo trutta*) y anguila (*Anguilla anguilla*), la prospección mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA) ha ofrecido resultados negativos (ausencia) para ambas especies. Se concluye entonces que en este embalse habitan únicamente cuatro (4) especies de peces.

La asociación de peces está dominada en términos de densidad por el barbo de Graells que representa el 62,4 %, seguido del black bass (26,5 %) y de la madrilla (9,4 %). En términos de biomasa, el barbo de Graells también es la especie con mayor importancia con un 90,6 % mientras que el black bass y la madrilla representan respectivamente un 5,5 % y un 2,7 %. El pez gato negro presenta unos efectivos bajos, que no superan el 2% ni en densidad ni en biomasa, pero su presencia advierte de una mayor presión futura sobre las especies autóctonas, dado su potencial altamente invasor.

La densidad media de peces, a partir de las estimaciones en celdas de 50 m, es de $2,06 \pm 0,46$ ind/dam³, que corresponde a un valor bajo. Sin embargo, la biomasa de peces obtenida en el embalse es de $6,19 \pm 1,37$ g/m², o lo que es lo mismo 62 kg/ha, que representa un valor intermedio de biomasa, pero más alto de lo esperado en un embalse oligotrófico.

La ictiocenosis de este embalse presenta un buen estado, con dos especies de ciprínidos autóctonos que son dominantes. El resultado de la aplicación del índice de calidad basado en peces QFBI es coherente con esta valoración (calidad “Buena”). No obstante, la presencia del

pez gato negro supone una amenaza que podría cambiar negativamente esta situación en el futuro.

Es por ello altamente recomendable avanzar en el conocimiento pormenorizado de la distribución y uso del hábitat de sus poblaciones, para definir un programa de medidas específicas que permita su control, y que también contribuiría a controlar la otra especie invasora del embalse (black bass). Las técnicas sobre las que basar una actuación de este tipo son la electropesca y la pesca con redes de cerco en determinados hábitats y momentos (p.e. Sikora, 2022), pero para establecer su configuración óptima es necesario disponer de un estudio previo de detalle.

7. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

% BPUE: Biomasa por unidad de esfuerzo expresada en porcentaje.

% CPUE: Capturas por unidad de esfuerzo expresado como porcentaje.

ADN ambiental (eDNA): es el material genético presente en el medio, en este caso, en el agua, procedente de los organismos que transmiten este material genético meramente por su interacción con el medio. Por ejemplo, procedente de excreciones, gametos, mucus, escamas, etc.

Amplión: fragmento del genoma amplificado mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Este fragmento puede variar en tamaño, dependiendo del marcador genético utilizado. Su composición en número de pares de bases y secuencia son conocidas.

BPUE: Biomasa por unidad de esfuerzo. El peso de las capturas obtenidas durante las pescas científicas, expresado en gramos, se normaliza a un esfuerzo de referencia, que corresponde a una red bentónica (45 m²) expuesta durante 12 horas.

Capturas: Número de individuos pescados.

CPUE: Capturas por unidad de esfuerzo. El número de capturas obtenidas durante las pescas científicas se normaliza a un esfuerzo de referencia, que corresponde a una red bentónica (45 m²) expuesta durante 12 horas.

Ecograma: Es una forma de representación del sonido que retorna a la ecosonda, en la que cada ping se dispone en el eje horizontal y la distancia en el vertical.

Índice de cobertura: Medida del esfuerzo de muestreo acústico que relaciona la longitud navegada con la raíz cuadrada de la superficie del embalse según la fórmula:

$$D_a = \frac{\text{Long de muestreo acústico}}{\sqrt{\text{Superficie embalse}}}$$

L. furcal: Longitud furcal media en milímetros.

MBPUE12: Promedio de biomasa por unidad de esfuerzo (g/45m²/12h) en redes de 12 paños (luces de malla de 5 a 55 mm).

MBPUE4: Promedio de biomasa por unidad de esfuerzo (g/45m²/12h) en redes de 4 paños (luces de malla de 70 a 135 mm).

MCPUE12: Promedio de capturas por unidad de esfuerzo (ind/45m²/12h) en redes de 12 paños (luces de malla de 5 a 55 mm).

MCPUE4: Promedio de capturas por unidad de esfuerzo (ind/45m²/12h) en redes de 4 paños (luces de malla de 70 a 135 mm).

Peso medio: expresado en g.

PF total: Peso fresco total de los peces capturados expresado en gramos.

Ping: Impulso acústico generado por la ecosonda; a efectos prácticos se puede considerar como una muestra de la columna de agua.

qPCR: (*quantitative Polymerase Chain Reaction*): Proceso de Reacción en Cadena de la Polimerasa que permite la cuantificación de la cantidad de ADN presente en las muestras a tiempo real mediante fluorescencia.

Talla acústica (*Target strength, TS*): Es la intensidad del sonido procedente de un blanco (pez en este caso) y se mide en decibelios (dB). Es una medida logarítmica de la proporción de la energía incidente que es devuelta por el blanco. Se utiliza una escala logarítmica porque el tamaño de los organismos acuáticos cubre varios órdenes de magnitud, desde el plancton hasta las ballenas. Para casi todos los peces, la TS está en el rango de -70 a -20 dB. Por ejemplo, si decimos que un blanco tiene 3 dB más que otro, es lo mismo que decir que refleja dos veces más energía. Un blanco de -20 dB, un atún o un siluro de gran talla quizás, produce un eco 10 000 veces más fuerte que un blanco de -60 dB, que podría corresponder por ejemplo a un alevín de boga de unos 4 cm de talla.

Transductor: Elemento primordial del sistema acústico, que convierte el impulso eléctrico en mecánico (sonido) y viceversa. Son piezas que van sumergidas y de cuyo diseño depende la arquitectura del haz acústico. Mediante la actuación de numerosos elementos piezo-eléctricos se consigue generar un haz tipo pistón, con un lóbulo central prominente y lóbulos laterales pequeños, de lo que depende la ratio señal/ruido de una ecosonda. Este es uno de los aspectos en los que se diferencian las ecosondas científicas de las ecosondas estándar pesqueras, y conlleva una considerable diferencia en sofisticación, que no se percibe en su justa medida en una apreciación puramente visual de un ecograma.

8. BIBLIOGRAFÍA

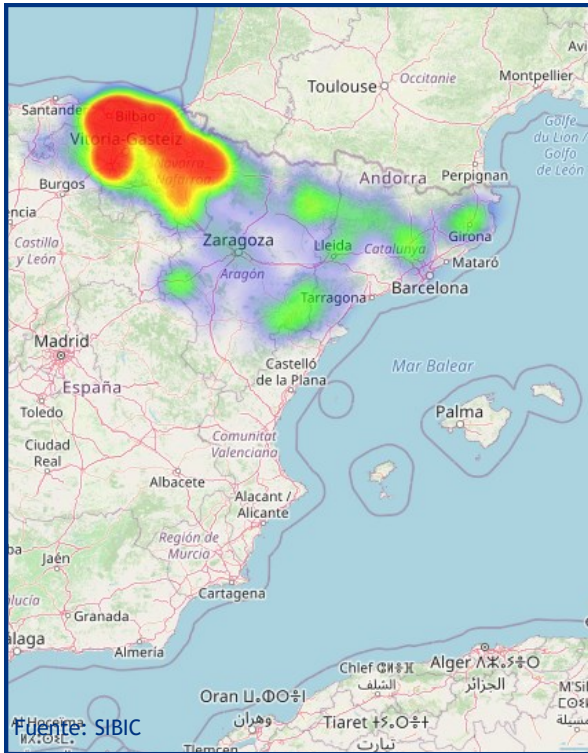
- CEN EN 14.757:2006. *Water quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets.*
- CEN EN 15910: 2014 *Water quality - Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods.*
- CHE. 1996. *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Ebro.*
- CHE. 2009. *Guía de campo de Peces de la Cuenca del Ebro.*
- CHE. 2015. Red de Seguimiento de Lagos 2015.
- CHE. 2016. *Control del Estado de las Masas de Agua CEMAS. Informe de situación año 2016.*
- Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.
- Doadrio, I. 2001. *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España.* Madrid, MMA. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Doadrio, I., S. Perea, P. Garzón-Heydt y J. L. González. 2011. *Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento.* DG Medio Natural y Política Forestal. MARM. 616 pp. Madrid.
- Fernandez, S., Sandin, M. M., Beaulieu, P. G., Clusa, L., Martinez, J. L., Ardura, A., & García-Vázquez, E. (2018). Environmental DNA for freshwater fish monitoring: insights for conservation within a protected area. *PeerJ*, 6, e4486.
- Fishbase. 2009. <http://www.fishbase.org/search.php>. Marzo, 2013.
- Gustavson MS, Collins PC, Finarelli JA, Egan D, Conchúir R, Wightman GD, King JJ, Gauthier DT, Whelan K, Carlsson JEL, Carlsson J. 2015. An eDNA assay for Irish *Petromyzon marinus* and *Salmo trutta* and field validation in running water. *Journal of Fish Biology* 87:1254-1262
- Jenks, George F. 1967: "The Data Model Concept in Statistical Mapping", an International Yearbook of Cartography nº 7: pp. 186-190.
- Leunda, P.M., Oscoz, J., Elvira, B., Agorreta, A., Perea, S. and Miranda, R. 2008. Feeding habits of the exotic black bullhead *Ameiurus melas* (Rafinesque) in the Iberian Peninsula: first evidence of direct predation on native fish species. *Journal of Fish Biology*, 73: 96-114. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.01908.x>.
- Love, R. H. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *The Journal of the Acoustical Society of America* 62, 1397-1403.
- Poikane, S., Birk, S., Böhmer, J., Carvalho, L., de Hoyos, C., Gassner, H., Van de Bund, W. (2015). A hitchhiker's guide to European lake ecological assessment and intercalibration. *Ecological Indicators*, 52, 533-544.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE, 219, 12 de septiembre de 2015.
- SAIH Ebro. <http://195.55.247.237/saihebro/index.php?url=/historicos/peticion>. Noviembre 2020.
- Sikora, L. W. (2022). *Bullhead Life History and the Effects of Removals in Northern Wisconsin* (Doctoral dissertation, University of Wisconsin-Stevens Point).

ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIES PRESENTES

Embalse de Margalef

Barbo de Graells *Luciobarbus graellsii*



Ciprínido de gran tamaño, que puede alcanzar tallas máximas de hasta 800 mm de longitud total, aunque la mayoría no suele superar los 350 mm. El color del cuerpo es pardo verdoso y moteado en juveniles. *Barbus graellsii* es una especie que puede colonizar todo tipo de medios, aunque prefiere los cursos medios y bajos de los ríos. Se la encuentra en los tramos altos únicamente en la época de reproducción, buscando zonas de arena y grava donde realizar la puesta. Como ocurre en otras especies del género *Barbus*, prefiere zonas tranquilas con vegetación y raíces de árboles donde encuentra refugios. Tiene hábitos gregarios, por lo que suele formar agrupaciones, incluso con otras especies de ciprínidos, de los géneros *Squalius* y *Parachondrostoma*. Presentan una alimentación variada, según la disponibilidad de recursos del medio. La época de reproducción dura desde mayo hasta agosto. La introducción de especies exóticas, la mayoría de ellas piscívoras, es la mayor de sus amenazas aunque también la construcción de infraestructuras hidráulicas se considera una amenaza importante. Se distribuye principalmente en la cuenca del Ebro pero llega hasta el río Asón en el Cantábrico y el río Ter en Cataluña.



Embalse de Margalef

Black bass

Micropterus salmoides



Especie introducida en 1955 para la pesca deportiva, procedente del este y sur de los Estados Unidos y norte de Méjico. Se ha aclimatado bien en los embalses españoles. Alcanza los 400 mm de longitud total. Es un activo depredador de hábitos sedentarios que se alimenta de invertebrados, anfibios y peces. Selecciona con preferencia las zonas de poca corriente y vegetación densa. La puesta es abundante (entre 10.000 y 11.000 huevos) y se realiza a finales de la primavera en fondos arenosos, en agujeros excavados por el macho y que vigila hasta después de la eclosión. Los individuos que viven en los embalses no realizan migraciones para reproducirse fuera del mismo sino que buscan zonas apropiadas dentro de sus límites y no se alimentan durante el periodo reproductivo.

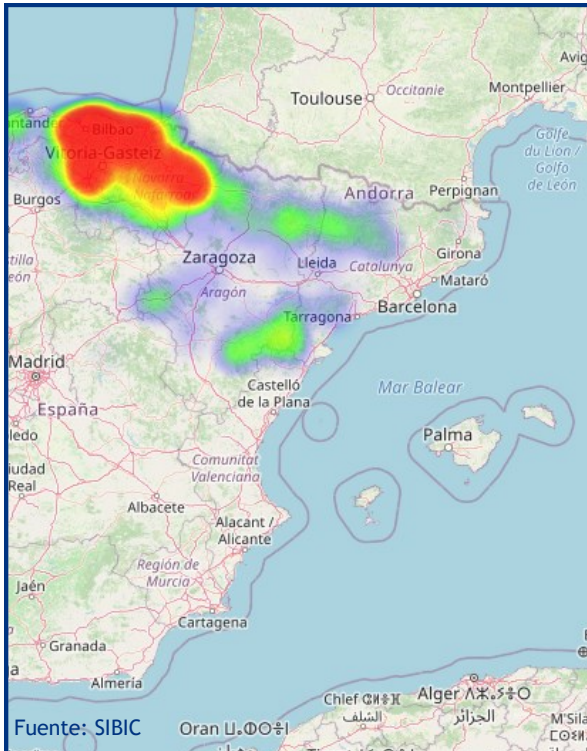
Su dieta es más ictiófaga a medida que alcanza tamaños mayores. Se le asigna un papel de presión sobre las poblaciones de ciprinidos autóctonos. Se ha observado que en algunos embalses, como en el de Orellana (Badajoz) (Ecohydros, 2003), tiene en el cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) un recurso trófico alternativo. Esta relación depredador-presa ha sido encontrada además por otros autores en lagos donde ambas especies eran introducidas (P. Hickley 2007).



Embalse de Margalef

Madrilla

Parachondrostoma miegii



La Loina o Madrilla es un ciprínido de tamaño medio que no suele sobrepasar los 300 mm de longitud total. Cuerpo alargado con la cabeza relativamente pequeña y boca situada en su parte inferior. El labio inferior es grueso y presenta una lámina córnea de forma arqueada, a diferencia de la boga del Duero, cuya lámina córnea es recta. Pedúnculo caudal largo y estrecho.

Es una especie típicamente reófila que vive en aguas corrientes pero que pueden sobrevivir en aguas remansadas e incluso en embalses siempre que puedan salir río arriba en la época reproductiva. Su alimentación es detritívora y complementariamente bentópaga.

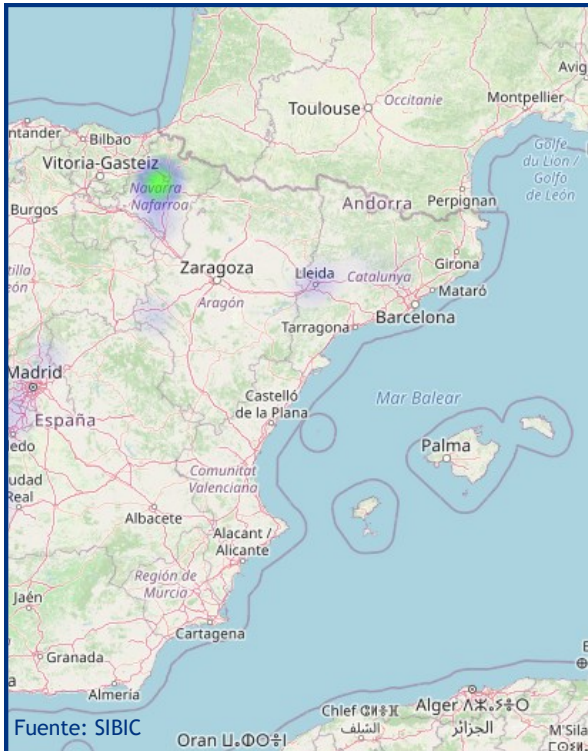
Remontan los ríos hacia los tramos altos para realizar la freza. Esta tiene lugar entre los meses de abril y junio en aguas someras con fondos de piedra o grava. La madurez sexual se alcanza a los dos ó tres años de edad. Las hembras ponen entre 600 y 15.000 huevos. Los machos pueden vivir hasta cinco años y las hembras hasta siete.

Especie endémica de España, que se distribuye por los ríos de la vertiente cantábrica oriental: Urumea, Oria, Urola, Deba, Artibay, Oca, Butrón, Nervión, Agüera, Asón y Pas, y de la vertiente mediterránea: Llobregat, Ebro (incluido el Esera) y Cenia.



Embalse de Margalef

Pez gato negro *Ameiurus melas*



Se distingue de otras peces por tener cuerpo desprovisto de escamas, presenta dos aletas dorsales de las cuales una es adiposa, tiene una espina pectoral de 30-50mm no aserrada, cuatro pares de barbillas bucales y la zona ventral blanquecina. Presenta radios espinosos en las aletas pectorales y dorsales, que se extienden y bloquean mediante un sistema de anclaje para defenderse de los depredadores. Prefiere lugares de corriente lenta en tramos medios de rios y fondo blancos, aunque muestra preferencia por zonas con vegetación, aguas turbias y limosas y sustratos fangosos. Soporta bien la contaminación, la escasez de oxígeno y altas temperaturas. De hábitos nocturnos y alimentación omnívora, es una especie generalista y oportunista, se alimenta de insectos, especialmente de quironómidos, material vegetal e incluso de otros peces tanto autóctonos como exóticos. Se reproduce a finales de la primavera y principios de verano.



ANEXO 2. RESULTADOS DE LAS PESCAS

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO	MLF21_E1PES1			
UMT-X	315.124	UTM-Y	4.574.438			
RIQUEZA ESPECIES	2	Distancia (m)	132,0			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells	5	0,04	83%	2650	20,08	97%
Madrilla		0,00	0%		0,00	0%
Black bass	1	0,01	17%	83	0,63	3%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	6	0,05	100%	2734	20,71	100%



CPUE

- Barbo de Graells
- Madrilla
- Black bass
- Pez gato negro

BPUE



RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	458	1158,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	422	906,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	262	231,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	188	86,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	275	269,4	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	190	83,4	1

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO	MLF21_E1PES2			
UMT-X	314.995	UTM-Y	4.574.598			
RIQUEZA ESPECIES	1	Distancia (m)	182,0			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells		0,00	0%		0,00	0%
Madrilla		0,00	0%		0,00	0%
Black bass	5	0,03	100%	412	2,27	100%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	5	0,03	100%	412	2,27	100%

CPUE		BPUE	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Barbo de Graells ■ Madrilla ■ Black bass ■ Pez gato negro 			

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	183	85,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	199	99,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	174	65,4	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	213	122,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	138	41,0	1

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO	MLF21_E1PES3			
UMT-X	314.822	UTM-Y	4.574.735			
RIQUEZA ESPECIES	1	Distancia (m)	147,0			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells		0,00	0%		0,00	0%
Madrilla		0,00	0%		0,00	0%
Black bass	2	0,01	100%	365	2,48	100%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	2	0,01	100%	365	2,48	100%

CPUE		BPUE	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Barbo de Graells ■ Madrilla ■ Black bass ■ Pez gato negro 			

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	237	185,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	230	180,0	1

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO	MLF21_E1PES4			
UMT-X	314.982	UTM-Y	4.574.353			
RIQUEZA ESPECIES	2	Distancia (m)	321,0			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells	9	0,03	56%	8082	25,18	94%
Madrilla		0,00	0%		0,00	0%
Black bass	7	0,02	44%	524	1,63	6%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	16	0,05	100%	8606	26,81	100%

CPUE

■ Barbo de Graells
■ Madrilla
■ Black bass
■ Pez gato negro

BPUE

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	423	982,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	380	750,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	404	860,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	433	988,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	401	817,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	463	1350,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	393	761,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	392	805,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	387	769,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	263	248,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	233	165,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	112	24,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	115	20,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	124	26,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	117	22,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	114	19,0	1

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO	MLF21_E1PES5			
UMT-X	314.953	UTM-Y	4.575.117			
RIQUEZA ESPECIES	1	Distancia (m)	365,0			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells	5	0,01	100%	5316	14,56	100%
Madrilla		0,00	0%		0,00	0%
Black bass		0,00	0%		0,00	0%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	5	0,01	100%	5316	14,56	100%
CPUE			BPUE			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Barbo de Graells ■ Madrilla ■ Black bass ■ Pez gato negro 						
RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA						
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind		
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	432	1152,0	1		
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	454	1092,0	1		
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	422	1026,0	1		
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	441	1110,0	1		
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	418	936,0	1		

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO DE RED	MLF21_E1BEN1			
UTM-X	314782	UTM-Y	4574704			
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m	SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H31			
INICIO	14-10-21 17:15	FIN	15-10-21 11:45			
PROFUNDIDAD	4	PROFUNDIDAD DE LA RED	3			
RIQUEZA ESPECIES	3	ESFUERZO APLICADO	2,1			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells	13	6,31	87%	8057	3.911,17	95%
Madrilla	1	0,49	7%	130	63,11	2%
Black bass		0,00	0%		0,00	0%
Pez gato negro	1	0,49	7%	335	162,62	4%
Total	15	7,28	100%	8522	4.136,89	100%

CPUE

■ Barbo de Graells
■ Madrilla
■ Black bass
■ Pez gato negro

BPUE

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	341	672,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	328	468,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	397	867,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	329	540,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	332	504,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	328	456,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	352	560,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	411	987,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	397	903,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	344	563,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	325	515,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	353	572,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	328	450,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	207	130,0	1
Pez gato negro	<i>Ameiurus melas</i>	295	335,0	1

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO DE RED	MLF21_E1BEN2			
UTM-X	314834	UTM-Y	4574054			
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m	SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H31			
INICIO	14-10-21 17:45	FIN	15-10-21 11:15			
PROFUNDIDAD	3	PROFUNDIDAD DE LA RED	2			
RIQUEZA ESPECIES	3	ESFUERZO APLICADO	1,9			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells	5	2,58	50%	3585	1.847,94	85%
Madrilla	4	2,06	40%	565	291,24	13%
Black bass	1	0,52	10%	87	44,85	2%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	10	5,15	100%	4237	2.184,02	100%

CPUE

■ Barbo de Graells
■ Madrilla
■ Black bass
■ Pez gato negro

BPUE

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	351	545,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	353	590,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	326	508,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	426	927,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	418	1015,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	214	170,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	197	115,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	225	184,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	189	96,0	1
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	186	87,0	1

FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Margalef	CÓDIGO DE RED	MLF21_E1EPL1			
UTM-X	314638	UTM-Y	4574165			
TIPO DE RED	Epipelágica (16x6) 40m	SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H31			
INICIO	14-10-21 18:00	FIN	15-10-21 10:40			
PROFUNDIDAD	13	PROFUNDIDAD DE LA RED	0			
RIQUEZA ESPECIES	2	ESFUERZO APLICADO	7,4			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Barbo de Graells	7	0,94	88%	4654	628,07	97%
Madrilla	1	0,13	13%	146	19,70	3%
Black bass		0,00	0%		0,00	0%
Pez gato negro		0,00	0%		0,00	0%
Total	8	1,08	100%	4800	647,77	100%

CPUE

■ Barbo de Graells
■ Madrilla
■ Black bass
■ Pez gato negro

BPUE

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	359	585,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	415	925,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	402	857,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	390	726,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	341	533,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	332	498,0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	340	530,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	213	146,0	1

ANEXO 3. CELDAS DEL MUESTREO HIDROACÚSTICO

ANEXO 4. MAPAS INTERPOLADOS DE DENSIDAD Y BIOMASA

Estrato	Segmento	X ETRS89 H31	Y ETRS89 H31	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	1	314841,0469	4574693,2	0,74	2,08
1	2	314796,3076	4574713,838	0,39	1,08
1	3	314756,527	4574744,938	0,3	0,85
1	4	314732,4475	4574789,214	2,95	8,28
1	5	314725,906	4574838,542	3,2	8,96
1	6	314735,785	4574887,873	2,14	6,01
1	7	314755,3309	4574933,569	4,75	13,31
1	8	314790,2949	4574985,649	0,01	0,04
1	9	314759,016	4574948,307	4,66	13,07
1	10	314746,1845	4574902,439	3,67	10,28
1	11	314728,9417	4574855,407	14,42	40,42
1	12	314727,864	4574813,484	1,04	2,91
1	13	314751,5106	4574769,652	0,76	2,14
1	14	314788,0814	4574716,17	3,37	9,46
1	15	314835,7933	4574701,388	1,06	2,98
1	16	314882,5786	4574706,129	0,82	2,29
1	17	314936,9879	4574695,421	4,53	12,71
1	18	314964,2263	4574662,942	0,54	1,5
1	19	315013,9797	4574656,586	7,78	21,81
1	20	315048,451	4574622,224	7,36	20,65
1	21	315047,3567	4574569,702	0,57	1,59
1	22	315073,512	4574529,197	3,75	10,51
1	23	315061,5529	4574486,273	0,63	1,78
1	24	315039,1765	4574460,99	0,53	1,48
1	25	315022,409	4574420,733	33,88	95
1	26	314982,2125	4574392,515	0,25	0,71
1	27	314949,3368	4574357,335	2,04	5,72
1	28	314930,8158	4574313,723	0,32	0,9
1	29	314906,7821	4574274,073	0,11	0,31
1	30	314871,4216	4574245,311	0,51	1,42
1	31	314844,0964	4574215,922	0,23	0,63
1	32	314835,0095	4574167,415	0,21	0,58
1	33	314827,8286	4574058,255	0	0
1	34	314785,6164	4574079,251	2,18	6,13
1	35	314741,3324	4574098,178	0	0
1	36	314726,9232	4574139,652	0	0
1	37	314681,1826	4574155,65	0,09	0,25
1	38	314651,5541	4574119,11	0	0
1	39	314629,9142	4574153,992	4,98	13,96
1	40	314654,352	4574196,597	2,26	6,33
1	41	314637,6479	4574157,616	0	0
1	42	314620,0488	4574193,239	0,2	0,56
1	43	314576,7527	4574213,408	0,07	0,2
1	44	314573,779	4574165,179	0,04	0,11
1	45	314590,4811	4574157,12	0	0
1	46	314631,5481	4574165,815	0,18	0,52
1	47	314654,2206	4574121,164	0,15	0,41

Estrato	Segmento	X ETRS89 H31	Y ETRS89 H31	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	48	314691,5775	4574104,957	5	14,03
1	49	314693,5041	4574153,225	0,36	1,01
1	50	314734,5202	4574155,989	0	0
1	51	314780,6962	4574137,014	0,03	0,09
1	52	314787,0648	4574095,312	0,07	0,21
1	53	314811,9644	4574116,297	0,99	2,77
1	54	314813,7155	4574166,258	2,69	7,54
1	55	314839,4332	4574208,831	1	2,81
1	56	314876,4619	4574242,216	0,25	0,7
1	57	314895,2232	4574279,456	0,1	0,28
1	58	314922,8194	4574307,994	0,43	1,19
1	59	314950,2679	4574345,868	0,84	2,34
1	60	314975,9783	4574388,864	0,06	0,17
1	61	315018,2967	4574416,182	0,32	0,89
1	62	315062,6767	4574437,939	0,23	0,66
1	63	315079,9712	4574472,25	15,93	44,65
1	64	315084,7421	4574467,462	0,66	1,86
1	65	315057,4693	4574508,841	0,26	0,74
1	66	315049,3032	4574555,665	1,11	3,12
1	67	315054,0648	4574605,138	0,32	0,9
1	68	315029,6334	4574624,825	0,49	1,37
1	69	314989,2354	4574655,095	0,57	1,59
1	70	314954,7387	4574677,593	2,86	8,03
1	71	314904,8055	4574675,899	1,4	3,94
1	72	314857,1794	4574691,1	0,57	1,61
1	73	314814,1434	4574716,772	0,84	2,34
1	74	314784,8083	4574722,186	0,72	2,02
1	75	314817,4655	4574692,957	0,54	1,51
1	76	314861,411	4574674,039	1,51	4,23
1	77	314906,1132	4574664,423	1,65	4,64
1	78	314955,6202	4574658,917	1,98	5,54
2	1	315061,493	4574546,445	0	0
2	2	315070,1788	4574493,375	35,74	0,81
2	3	315033,9538	4574480,61	0	0
2	4	315041,2848	4574434,55	0	0
2	5	315001,4363	4574408,146	0	0
2	6	314965,4441	4574377,9	7,75	3,82
2	7	314943,041	4574333,176	0	0
2	8	314919,3595	4574293,206	1,1	0,71
2	9	314888,4979	4574261,141	0	0
2	10	314846,5373	4574239,701	2,6	2,42
2	11	314842,2738	4574190,76	3,18	10,25
2	12	314824,2417	4574145,003	1,61	0,1
2	13	314812,7109	4574072,939	0	0
2	14	314763,7035	4574094,908	3,85	15,3
2	15	314731,145	4574123,513	0	0
2	16	314702,7963	4574149,299	0	0

Estrato	Segmento	X ETRS89 H31	Y ETRS89 H31	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
2	17	314669,8838	4574134,452	0	0
2	18	314628,1115	4574129,64	0,54	0,1
2	19	314639,9851	4574176,976	0	0
2	20	314675,2353	4574182,31	0	0
2	21	314641,1658	4574177,935	0	0
2	22	314596,906	4574207,295	0	0
2	23	314575,4036	4574191,079	0	0
2	24	314574,929	4574139,985	0	0
2	25	314612,0346	4574171,724	0	0
2	26	314642,1671	4574143,291	0	0
2	27	314676,4984	4574106,031	0	0
2	28	314697,3718	4574127,807	0	0
2	29	314708,5632	4574161,884	0	0
2	30	314756,619	4574144,016	0	0
2	31	314788,7531	4574115,2	0	0
2	32	314812,2019	4574093,072	0	0
2	33	314812,9111	4574141,603	0	0
2	34	314828,5319	4574185,122	0	0
2	35	314855,618	4574228,138	0	0
2	36	314890,5896	4574253,466	0	0
2	37	314909,5464	4574297,4	0	0
2	38	314924,9167	4574305,796	0	0
2	39	314958,1614	4574361,043	0	0
2	40	314995,5681	4574403,074	0	0
2	41	315042,317	4574426,059	0	0
2	42	315064,1136	4574456,867	0	0
2	43	315098,6185	4574460,31	0	0
2	44	315074,3247	4574489,047	0	0
2	45	315052,8297	4574542,477	0	0
2	46	315048,3577	4574579,076	37,54	4,27

ANEXO 5. BOLETINES DE ENSAYO eDNA

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla y Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO N°:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

Recepción de muestras en el laboratorio

Fecha:	13/12/21
Técnico:	Laura Miralles
Nº Muestras:	9
Estado de las muestras:	Congelación
Almacenaje:	Congelación

Código de muestra	Chequeo
MLF21_E1PRO1_1	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1PRO1_2	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1PRO1_3	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1BEN1_1	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1BEN1_2	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1BEN1_3	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1PES5_1	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1PES5_2	<input checked="" type="checkbox"/>
MLF21_E1PES5_3	<input checked="" type="checkbox"/>

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla y Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO N°:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

Filtración de muestras de agua

Técnico:	Laura Miralles y Alexis Dorta
Almacenaje:	Congelación
Incidencias:	No

Muestras filtradas			
Código	Volumen (L)	Nº filtros	Fecha
MLF21_E1PRO1_1	1	2	15/12/21
MLF21_E1PRO1_2	1	2	15/12/21
MLF21_E1PRO1_3	1	2	15/12/21
MLF21_E1BEN1_1	1	2	15/12/21
MLF21_E1BEN1_2	1	2	15/12/21
MLF21_E1BEN1_3	1	2	15/12/21
MLF21_E1PES5_1	1	2	15/12/21
MLF21_E1PES5_2	1	2	15/12/21
MLF21_E1PES5_3	1	2	15/12/21
Control filtración	1	1	15/12/21

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla y Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

Extracción de ADN

Fecha:	15-mar
Técnico:	Laura Miralles
Método de extracción:	Kit Qiagen
Número de muestras:	10
Incidencias:	No

Muestras extraídas		
Código	Volumen (mL)	Quality Check
MLF21_E1PRO1_1	100	☒
MLF21_E1PRO1_2	100	☒
MLF21_E1PRO1_3	100	☒
MLF21_E1BEN1_1	100	☒
MLF21_E1BEN1_2	100	☒
MLF21_E1BEN1_3	100	☒
MLF21_E1PES5_1	100	☒
MLF21_E1PES5_2	100	☒
MLF21_E1PES5_3	100	☒
Control filtración	100	☒

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla</i> y <i>Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

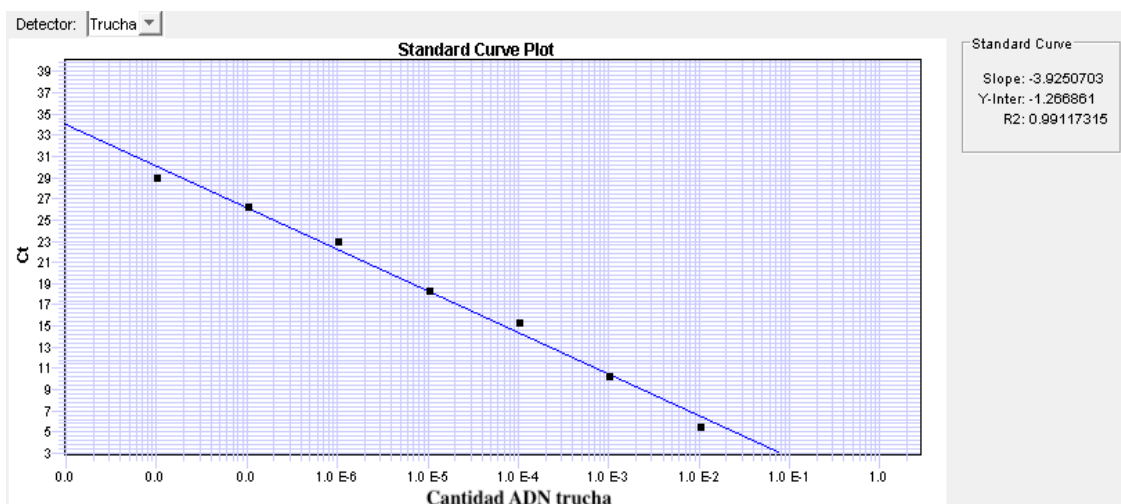
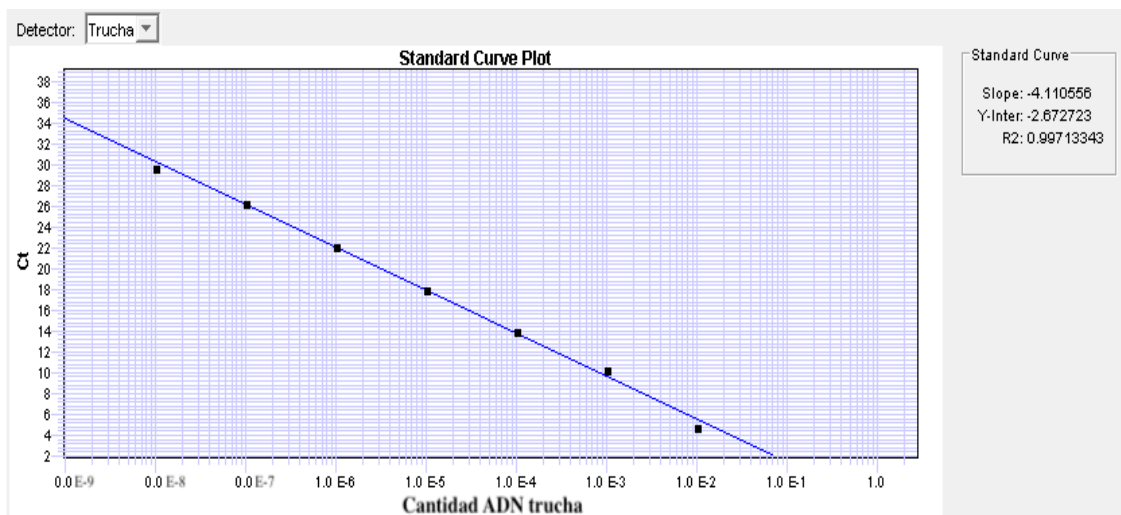
Detección por PCR

Técnico: Laura Miralles

Incidencias: No

Salmo trutta

	1º Amplif.	2º Amplif.
Máquina PCR:	HT7900 Real Time	HT7900 Real Time
R2:	0,997	0,991
Recta - Pendiente:	-4,111	-3,925
Recta - Intercepto	-2,673	-1,267
Conservación:	congelación	congelación



TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla</i> y <i>Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO N°:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

Resultados			
Código	Detección	Detección	Detección
MLF21_E1PRO1_1	-	-	-
MLF21_E1PRO1_2	-	-	-
MLF21_E1PRO1_3	-	-	-
MLF21_E1BEN1_1	-	-	-
MLF21_E1BEN1_2	-	-	-
MLF21_E1BEN1_3	-	-	-
MLF21_E1PES5_1	-	-	-
MLF21_E1PES5_2	-	-	-
MLF21_E1PES5_3	-	-	-
Control negativo filtración	-	-	-
Cotrol negativo extracción	-	-	-
Control negativo PCR	-	-	-
Control positivo PCR	+	+	+

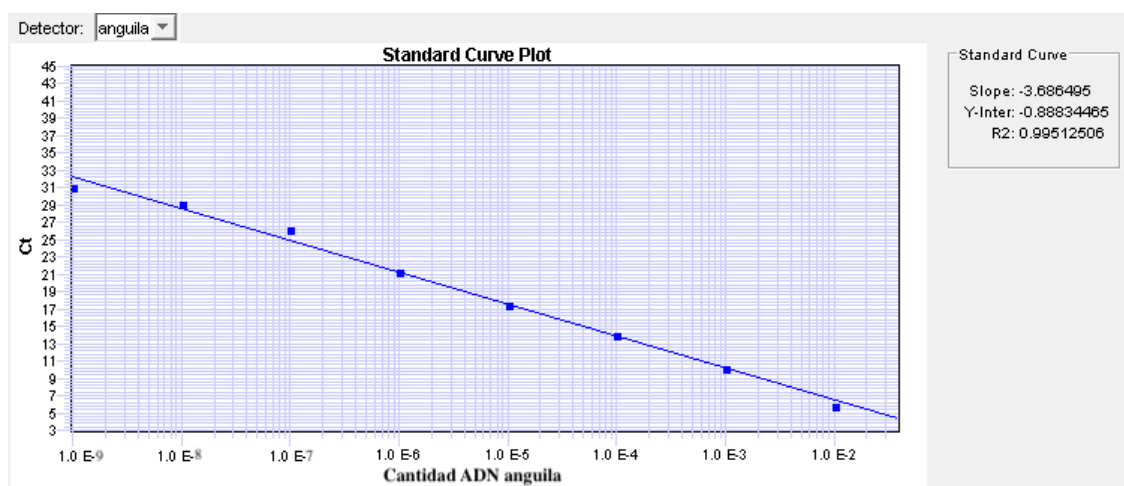
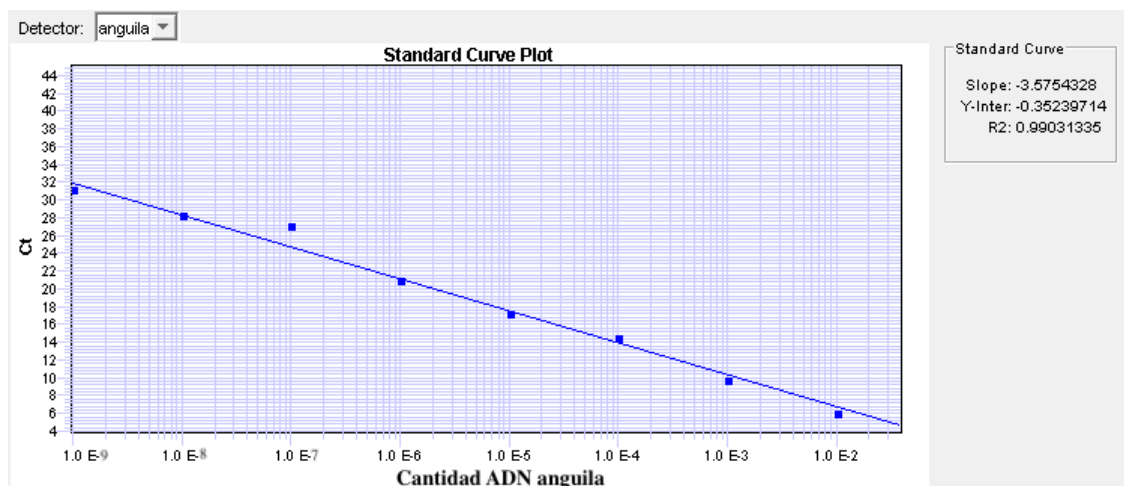
Conclusión

No se ha detectado la presencia de trucha (*Salmo trutta*) en ninguna muestra del embalse.

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla</i> y <i>Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

Anguilla anguilla

	1º Amplif.	2º Amplif.
Máquina PCR:	HT7900 Real Time	HT7900 Real Time
R2:	0,99	0,995
Recta - Pendiente:	-3,575	-3,686
Recta - Intercepto	-0,353	-0,888
Conservación:	congelación	congelación



TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla</i> y <i>Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO N°:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	

Resultados			
Código	Detección	Detección	Detección
MLF21_E1PRO1_1	-	-	-
MLF21_E1PRO1_2	-	-	-
MLF21_E1PRO1_3	-	-	-
MLF21_E1BEN1_1	-	-	-
MLF21_E1BEN1_2	-	-	-
MLF21_E1BEN1_3	-	-	-
MLF21_E1PES5_1	-	-	-
MLF21_E1PES5_2	-	-	-
MLF21_E1PES5_3	-	-	-
Control negativo filtración	-	-	-
Cotrol negativo extracción	-	-	-
Control negativo PCR	-	-	-
Control positivo PCR	+	+	+

Conclusión

No se ha detectado la presencia de anguila (*Anguilla anguilla*) en ninguna muestra del embalse.

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE
ESPECIE:	<i>Anguilla anguilla y Salmo trutta</i>	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
INFORME DE ENSAYO Nº:	21018	
Procedencia:	Embalse de Margalef	
Código de proyecto:	EC20012	